

EDUARDO SABINO PEGORINI

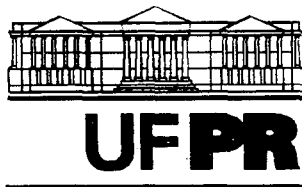
**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DO PROGRAMA DE
RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NA REGIÃO
METROPOLITANA DE CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração em Ciência
do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Cleverson V. Andreoli
Co-orientador: Dr. Marcos L. de Paula Souza

CURITIBA

2002



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-060-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentado pelo candidato **EDUARDO SABINO PEGORINI**, com o título: "**Avaliação de Impactos Ambientais e Caracterização dos Produtores no Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto na Região Metropolitana de Curitiba .**", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**A**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 30 de agosto de 2002.

Prof. Dr. Cleverton-Vitorio Andreoli, Presidente.

Prof. Dr. Fernando Fernandes, Iº Examinador.

Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula Souza, IIº Examinador.



DEDICATÓRIA

**Àqueles que dedicaram a vida
toda pela minha formação**

Meus pais

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao Professor Dr. Cleverson V. Andreoli pela amizade, ensinamentos, valorosa orientação e, em especial, pela oportunidade de ingressar no mundo da ciência.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Marcos Luiz de Paula Souza pela colaboração e valiosas contribuições;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela bolsa de estudo concedida;

Ao curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo, da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e contribuição à formação científica e pessoal;

À EMATER-PR na figura do Eng. Agr. Beno H. W. Doetzer;

À Companhia de Saneamento do Paraná pelo apoio tornando este trabalho adequado aos objetivos propostos especialmente na figura dos gerentes, Eng. Ary Haro dos Anjos Júnior (CEGIP) e Eng. Daniel Francisco Gonçalves (USOECT); e Eng. Vanessa Galperin

À ENVITEC pelo fornecimento de dados e sugestões, especialmente ao Dr. Fernando Fernandes e ao Eng. Wilmar Weigert;

Aos agricultores envolvidos com o Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto na RMC especialmente aos Srs. Dionísio Lech, Gerson Manera e à Empresa Grameira Pereira.

Aos amigos do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) Aderlene, Andréia, Charles, Cinthya, Cíntia, Cristina, Cristina Tamanini, Déa, Edison, Egypcia, Luiz, Marceli, Mari, Marlene, Milene, Nielsen, Otto e Silvana, pela amizade, compreensão, incentivo e valiosas contribuições

À minha esposa pelo amor, carinho, atenção e dedicação nos momentos mais difíceis deste trabalho

Aos meus pais pela linha mestra, modelo de crescimento e inspiração e ombro acolhedor sempre que necessário.

Aos meus irmãos pela amizade e apoio.

Ao Saddam pelo companheirismo.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------|
| LISTA DE TABELAS | xi |
| LISTA DE FIGURAS | xvi |
| RESUMO | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| | |
| 1. INTRODUÇÃO | 01 |
| 2. OBJETIVOS | 04 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL..... | 04 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 04 |
| | |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 06 |
| 3.1. RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO..... | 06 |
| 3.1.1. Panorama Mundial..... | 08 |
| 3.1.2. Reciclagem Agrícola no Brasil..... | 11 |
| 3.1.3. Disposição Final no Paraná | 12 |
| 3.2. COMPOSIÇÃO DO LODO E IMPLICAÇÕES PARA USO AGRÍCOLA..... | 13 |
| 3.2.1. Características de Interesse Agrônomo: Matéria Orgânica e Nutrientes..... | 13 |
| 3.2.2. Componentes Indesejáveis: patógenos, metais pesados e compostos orgânicos complexos. . | 16 |
| 3.2.2.1. <i>Patógenos</i> | 16 |
| 3.2.2.1.1. <i>Processos de higienização</i> | 19 |
| 3.2.2.2. <i>Metais Pesados</i> | 21 |
| 3.2.2.3. <i>Poluentes Orgânicos</i> | 26 |
| 3.3. EFEITOS DO USO DO LODO NO SOLO E NA PLANTA | 27 |
| 3.3.1. Propriedades físicas do solo | 28 |
| 3.3.2. Propriedades químicas | 30 |

| | |
|---|--------|
| 3.3.3. Contaminação do solo com Metais Pesados..... | 36 |
| 3.3.3.1. <i>Ocorrência natural de metais pesados nos solos</i> | 37 |
| 3.3.3.2. <i>Formas dos metais pesados no solo, mobilidade e solubilidade</i> | 40 |
| 3.3.3.3. <i>Fatores associados a disponibilidade dos metais pesados para as plantas</i> | 44 |
| 3.3.3.4. <i>Efeito do lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados nos solos</i> | 49 |
| 3.3.3.5. <i>Avaliação de Risco e as teorias Barreira Solo-Planta, Platô e Bomba relógio</i> | 54 |
| 3.3.3.6. <i>Limites de metais pesados nos solos</i> | 59 |
| 3.3.4. Produtividade e Desenvolvimento das Culturas | 62 |
| 3.4. ASPECTOS ECONÔMICOS DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO..... | 65 |
| 3.5. ACEITABILIDADE: ENVOLVIMENTO DE AGRICULTORES E CONSUMIDORES..... | 67 |
| 3.6. LEGISLAÇÃO | 70 |
| 3.6.1. Normatização Brasileira..... | 71 |
| 3.6.2. Instrução Normativa para a Reciclagem Agrícola de Biossólidos da SANEPAR..... | 73 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 74 |
| 4.1. AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE RECICLAGEM | 74 |
| 4.1.1. Produção, Processamento e Disposição final de lodo em Curitiba..... | 75 |
| 4.1.2. Avaliação da qualidade do lodo disponibilizado aos agricultores | 76 |
| 4.1.3. Caracterização das práticas de uso e manejo e das propriedades onde o lodo foi aplicado | 78 |
| 4.1.4. Caracterização dos produtores e aceitabilidade..... | 79 |
| 4.2. EFEITO DO LODO DE ESGOTO SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS E CONTEÚDO DE METAIS PESADOS DE TRÊS SOLOS DA RMC..... | 80 |
| 4.2.1. Localização e caracterização das áreas selecionadas..... | 80 |
| 4.2.2. Delineamento experimental e tratamentos | 82 |
| 4.2.3. Lodo Utilizado..... | 84 |
| 4.2.4. Amostragens..... | 84 |
| 4.2.5. Avaliações Efetuadas..... | 86 |
| 4.2.5.1. <i>Análise de Fertilidade</i> | 86 |

| | |
|---|-----|
| 4.2.5.2. <i>Análise granulométrica</i> | 86 |
| 4.2.5.3. <i>Análise do teor total dos metais pesados</i> | 86 |
| 4.2.5.4. <i>Análise estatística</i> | 87 |
| 4.2.5.4.1. <i>Fertilidade</i> | 87 |
| 4.2.5.4.2. <i>Metais pesados</i> | 88 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 89 |
| 5.1. PRODUÇÃO DE LODO EM CURITIBA..... | 89 |
| 5.2. DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO EM CURITIBA | 93 |
| 5.3. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO DISPONIBILIZADO AOS AGRICULTORES | 98 |
| 5.3.1. Valor agrônomo | 98 |
| 5.3.2. Agentes Patogênicos | 103 |
| 5.3.2.1 <i>Sobrevivência de Helminths</i> | 106 |
| 5.3.2.2 <i>Considerações sobre o processo de higienização, riscos de contaminação e monitoramento</i> | 108 |
| 5.3.3. Metais Pesados | 109 |
| 5.3.3.1 <i>Qualidade do lodo reciclado em Curitiba frente às legislações internacionais</i> | 113 |
| 5.3.4 Estabilidade | 115 |
| 5.4 AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS DE USO E MANEJO..... | 116 |
| 5.4.1 Culturas | 116 |
| 5.4.2 Época de aplicação e sazonalidade da demanda de lodo..... | 121 |
| 5.4.3 Taxas de aplicação..... | 123 |
| 5.4.3.1 <i>Metodologia de recomendação</i> | 123 |
| 5.4.3.2 <i>Quantidades aplicadas: Nitrogênio e Lodo (Matéria Seca - MS)</i> | 124 |
| 5.4.3.3 <i>Quantidades de metais pesados aplicadas aos solos através do lodo.</i> | 127 |
| 5.4.3.4 <i>Quantidades de fósforo aplicadas</i> | 129 |
| 5.4.4 Características das áreas agrícolas adubadas com lodo | 130 |
| 5.4.4.1 <i>Aptidão das terras</i> | 130 |

| | |
|--|------------|
| 5.4.4.2 Características químicas dos solos..... | 135 |
| 5.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTORES, TÉCNICAS DE APLICAÇÃO E ACEITABILIDADE DO LODO | 139 |
| 5.6 EFEITO DO LODO DE ESGOTO CALEADO DA ETE BELÉM SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DE TRÊS SOLOS NA RMC..... | 148 |
| 5.6.1 pH (CaCl ₂)..... | 149 |
| 5.6.2 Alumínio trocável..... | 150 |
| 5.6.3 Acidez potencial | 152 |
| 5.6.4 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)..... | 153 |
| 5.6.5 Potássio (K)..... | 156 |
| 5.6.6 Fósforo | 157 |
| 5.6.7 Carbono..... | 158 |
| 5.6.8 CTC pH 7,0 | 160 |
| 5.6.9 Saturação por bases..... | 162 |
| 5.7 POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO NA RMC..... | 164 |
| 5.7.1 Caracterização física e química dos solos | 164 |
| 5.7.2 Teores de Metais Pesados | 166 |
| 5.7.3 Efeito do lodo de esgoto e do uso da terra sobre os teores de metais pesados | 169 |
| 5.7.3.1 Cromo | 170 |
| 5.7.3.2 Níquel..... | 171 |
| 5.7.3.3 Chumbo..... | 173 |
| 5.7.3.4 Cobre | 174 |
| 5.7.3.5 Zinco | 175 |
| 5.7.4 Considerações sobre o efeito do lodo nos teores de Metais no solo | 176 |
| 6. CONCLUSÕES | 178 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 182 |

| | |
|--|----------------|
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 183 |
| ANEXOS | 198 |
| ANEXO 1. MODELO DE QUESTIONÁRIO PARA AGRICULTORES | 198 |
| ANEXO 2. CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA DISPOSIÇÃO AGRÍCOLA DO LODO..... | 201 |
| ANEXO 3. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS UTILIZADOS | 203 |
| ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS DO USO DO LODO NOS SOLOS..... | 205 |
| ANEXO 5. VALORES DE PH (CaCl_2), AL, H+AL, P, K, CA, MG, C orgânico e CTC DOS SOLOS PVAd, LVAd e CXbd SOB OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS. | 208 |
| ANEXO 6. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Hg, Cr, Cu, Ni, Pb E Zn À PROFUNDIDADE DE 0 A 20 cm SOLOS PVAd, LVAd e CXbd, SOB OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS. | 210 |
| ANEXO 7. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Hg, Cr, Cu, Ni, Pb E Zn À PROFUNDIDADE DE 20 A 40 cm SOLOS PVAd, LVAd e CXbd, SOB OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS. | 211 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - PROJEÇÕES DE USO E DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESGOTO NOS EUA EM 1998 E PROJEÇÕES PARA 2000, 2005 E 2010..... | 8 |
| TABELA 2 - TEOR DE NUTRIENTES E CARBONO EM DIVERSOS TIPOS DE BIOSSÓLIDOS UTILIZADOS EM EXPERIMENTOS NO BRASIL (% DE MATÉRIA SECA) | 14 |
| TABELA 3 - RESULTADOS COMPARATIVOS DE MACRONUTRIENTES PARA DIVERSOS RESÍDUOS ORGÂNICOS | 15 |
| TABELA 4 - TEOR DE MICRONUTRIENTES (PPM) EM DIVERSOS TIPOS DE BIOSSÓLIDOS UTILIZADOS EM EXPERIMENTOS NO BRASIL..... | 16 |
| TABELA 5 - CONCENTRAÇÃO TÍPICA DE PATÓGENOS EM LODOS BRUTOS E DIGERIDOS - ANAEROBIAMENTE NOS EUA | 17 |
| TABELA 6 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE PATÓGENOS INDICADORES EM 17 AMOSTRAS DE LODO DA ETE BELÉM..... | 18 |
| TABELA 7 - PRESENÇA DE ELEMENTOS PATOGÊNICOS EM BIOSSÓLIDOS DE ALGUMAS ETES | 18 |
| TABELA 8 - PRESENÇA DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS EM LODO DE ESGOTO DA ETE BELÉM SUBMETIDO A HIGIENIZAÇÃO ATRAVÉS DA CALAGEM A 30 %, 40 % E 50 % M.S. | 20 |
| TABELA 9 - TEORES INICIAIS DE PATÓGENOS, ELIMINAÇÃO E PERCENTUAL DE REDUÇÃO APÓS FASE TERMÓFILA EM COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO COM BAGAÇO DE CANA | 21 |
| TABELA 10 - TEORES DE METAIS PESADOS EM ESTERCOS ANIMAIS E LODOS NO PARANÁ | 24 |
| TABELA 11 - TEORES DE METAIS PESADOS EM AMOSTRAS DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E CALCÁRIO (VALORES EM MG.KG-1)..... | 25 |
| TABELA 12 - TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS (TOTAL E EXTRAÍVEL) E ROCHAS | 38 |
| TABELA 13 - CAPACIDADE DE FIXAÇÃO DOS PRINCIPAIS METAIS POR COMPONENTES DO SOLO E PH PARA PRECIPITAÇÃO DOS HIDRÓXIDOS DOS ELEMENTOS | 42 |
| TABELA 14 - FATORES ASSOCIADOS A DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS EM SOLOS..... | 45 |
| TABELA 15 - NÍVEIS MÁXIMOS TOLERÁVEIS PARA ANIMAIS EM COMPARAÇÃO AOS NÍVEIS DE FITOTOXICIDADE | 57 |
| TABELA 16 - TEORES LÍMITES DE METAIS PESADOS EM SOLOS PARA A APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO | 60 |
| TABELA 17 - ADIÇÃO MÁXIMA ANUAL DE METAIS PERMITIDA EM SOLOS AGRÍCOLAS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO | 61 |
| TABELA 18 - VALORES DE ALERTA EM SOLOS AGRÍCOLAS PARA METAIS PESADOS NO ESTADO DE SÃO PAULO | 62 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 19 - PRODUTIVIDADE DE LAVOURAS FERTILIZADAS COM BIOSSÓLIDOS E COMPLEMENTAÇÃO QUÍMICA COMPARADAS COM LAVOURAS FERTILIZADAS QUÍMICAMENTE | 63 |
| TABELA 20 - FLUXO OPERACIONAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM DO LODO DE ESGOTO DA ETE BELÉM E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO EMPREGADOS..... | 74 |
| TABELA 21 - PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO..... | 76 |
| TABELA 22 - METODOLOGIAS DE ANÁLISE EMPREGADAS PELO LABORATÓRIO DA PUC-PR..... | 79 |
| TABELA 23 - CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS SELECIONADAS PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO LODO NO SOLO E NÍVEL TECNOLÓGICO ADOTADO PELOS AGRICULTORES..... | 81 |
| TABELA 24 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DOS SOLOS AVALIADOS ANTES DA APLICAÇÃO DE LODO | 82 |
| TABELA 25 - DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS AVALIADOS | 83 |
| TABELA 26 - CARATERIZAÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ESGOTO UTILIZADOS: PARÂMETROS AGRONÔMICOS | 84 |
| TABELA 27 - CARATERIZAÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ESGOTO UTILIZADOS: CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS..... | 84 |
| TABELA 28 - PROCESSO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO..... | 86 |
| TABELA 29 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM OPERAÇÃO ATUALMENTE EM CURITIBA E ESTIMATIVA TEÓRICA DA PRODUÇÃO DE LODO..... | 89 |
| TABELA 30 - PRODUÇÃO DE LODO CALEADO NA ETE BELÉM DISPOSTO NA AGRICULTURA ENTRE AGOSTO DE 1999 E MARÇO DE 2002 | 95 |
| TABELA 31 - FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM E PARÂMETROS DE QUALIDADE DO LODO EXIGIDOS PELO IAP | 96 |
| TABELA 32 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DE VALOR AGRONÔMICO DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM DE SETEMBRO DE 2000 A MARÇO DE 2002..... | 98 |
| TABELA 33 - TEORES DE CARBONO EM LODOS DE ESGOTO BRUTO E CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM | 101 |
| TABELA 34 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES FECAIS E HELMINTOS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS ENTRE SETEMBRO DE 2000 E DEZEMBRO DE 2001 EM CURITIBA..... | 103 |
| TABELA 35 - QUANTIDADE E ESPÉCIES DE HELMINTOS APÓS A CALEAÇÃO NOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO RECICLADOS EM CURITIBA ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002. | 107 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 36 - CONTAMINAÇÃO COM METAIS PESADOS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM E APLICADOS NA AGRICULTURA EM 2000 E 2001 NA RMC. | 110 |
| TABELA 37 - TEORES DE METAIS PESADOS EM LODOS DA ETE-BELÉM..... | 111 |
| TABELA 38 - TEORES DE METAIS PESADOS EM ESTERCOS ANIMAIS UTILIZADOS NA AGRICULTURA NO PARANÁ | 113 |
| TABELA 39 - TEORES DE METAIS PESADOS EM FERTILIZANTES MINERAIS..... | 113 |
| TABELA 40 - DISCREPÂNCIA DE LIMITES DE METAIS PESADOS DEFINIDOS PELAS LEGISLAÇÕES MAIS E MENOS RIGOROSAS DO MUNDO..... | 114 |
| TABELA 41 - TEOR CINZAS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO DISTRIBUÍDO AOS AGRICULTORES ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC | 116 |
| TABELA 42 - CULTURAS E ÁREA (HA) FERTILIZADA COM LODO CALEADO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 | 116 |
| TABELA 43 - SAZONALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE LODO CALEADO EM FUNÇÃO DAS CULTURAS ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC..... | 122 |
| TABELA 44 - TAXAS MÉDIAS,MÁXIMAS E MÍNIMAS DE APLICAÇÃO DE LODO (T M.S./HA) EMPREGADAS NAS CULTURAS FERTILIZADAS COM LODO ENTRE SET/2000 E MAR/2002..... | 124 |
| TABELA 45 - RESULTADOS ESTATÍSTICOS DAS CARGAS DE CD, PB, NI, HG, ZN E CU APLICADAS AOS SOLOS ADUBADOS COM LODO DE ESGOTO NA RMC NO PERÍODO DE SETEMBRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 ELIMITES ANUAIS DE CARGA DAS LEGISLAÇÕES DEE E USEPA. | 128 |
| TABELA 46 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO CALEDADO PRODUZIDO NECESSÁRIA PARA ATINGIR OS LIMITES DE CARGA ANUAL MÁXIMA DE METAIS PERMITIDOS PELA EPA, CONSIDERANDO OS MAIORES TEORES DE METAIS DOS LOTES RECICLADOS.. | 128 |
| TABELA 47 - FÓSFORO TOTAL APLICADO ATRAVÉS DE LODO ESGOTO CALEADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS ADUBADAS COM O RESÍDUO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC | 129 |
| TABELA 48 - SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DE TERRAS AO USO DE LODO DE ESGOTOS UTILIZADO NA SELEÇÃO DAS ÁREAS PARA APLICAÇÃO DE LODO NA RMC | 131 |
| TABELA 49 - FATORES E GRAU DE RESTRIÇÃO DAS ÁREAS UTILIZADAS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2001 E MARÇO DE 2002..... | 132 |
| TABELA 50 - FATOR MÉDIO DE RELEVO DOS DISTRITOS ONDE LOCALIZAM-SE AS ÁREAS FERTILIZADAS COM LODO DE ESGOTO CALEADO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC | 133 |

| | |
|--|-----|
| TABELA 51 - USO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO E NÍVEL DE ESCOLARIDADE NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 140 |
| TABELA 52 - ÁREA CULTIVADA DOS AGRICULTORES QUE UTILIZARAM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 141 |
| TABELA 53 - CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL TECNOLÓGICO DOS PRODUTORES QUE UTILIZARAM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 142 |
| TABELA 54 - PRINCIPAIS PROBLEMAS APONTADOS PELOS PRODUTORES QUE UTILIZARAM O LODO DE ESGOTO CALEDADO NA AGRICULTURA. ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001..... | 144 |
| TABELA 55 - FATORES ASSOCIADOS A ESTOCAGEM DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 145 |
| TABELA 56 - PERÍODO DE ESTOCAGEM DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NAS PROPRIEDADES DA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 146 |
| TABELA 57 - PRINCIPAIS VANTAGENS APONTADAS PELOS AGRICULTORES COM A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001 | 146 |
| TABELA 58 - PRINCIPAIS FATORES SEGUNDO OS AGRICULTORES QUE INDUZIRÃO O USO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC..... | 147 |
| TABELA 59 - NÍVEL ACEITABILIDADE DA COMERCIALIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO ENTRE OS AGRICULTORES DA RMC | 148 |
| TABELA 60 – VALORES DE “F” PARA CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEDADO | 148 |
| TABELA 61 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEDADO SOBRE A SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO (v%) NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 156 |
| TABELA 62 – CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E GEOLÓGICAS DOS SOLOS ADUBADOS COM LODO NA RMC..... | 165 |
| TABELA 63 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 166 |
| TABELA 64 – TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS DOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD E PARÂMETROS INTERNACIONAIS | 166 |
| TABELA 65 – VALORES DE “F” PARA A FONTE DE VARIAÇÃO “USO DE LODO DE ESGOTO CALEDADO” NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 169 |
| TABELA 66 – VALORES DE “F” PARA A FONTE DE VARIAÇÃO “PROFUNDIDADE” NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 170 |
| TABELA 67 – VALORES DE “F” PARA A INTERAÇÃO “PROFUNDIDADE” X “CONDIÇÕES DE USO NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 170 |

| | |
|--|------------|
| TABELA 68 – CARGA DE METAIS PESADOS ADICIONADAS AOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | |
| ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO. | 172 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1 - DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO NA EUROPA, 1997..... | 9 |
| FIGURA 2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR VERSUS PLATÔ DA ABSORÇÃO DE CÁDMIO POR PLANTAS DE ALFACE (CHANEY ET AL., 1999A)..... | 58 |
| FIGURA 3 - PERCENTUAL RELATIVO DA MAIOR E MENOR CONCENTRAÇÃO DE Cd, Zn, Pb, Ni, Cu, Hg E Cr DOS LOTES DE LODO RECICLADOS EM CURITIBA ENTRE 2000 E 2001, EM RELAÇÃO ÀS LEGISLAÇÕES EUROPÉIA E AMERICANA..... | 114 |
| FIGURA 4 - UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO DA ETE BELÉM ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 | 117 |
| FIGURA 5 - FAIXA DE NITROGÊNIO TOTAL APLICADO ATRAVÉS DE LODO DE ESGOTO CALEADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS ADUBADAS COM O RESÍDUO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC..... | 126 |
| FIGURA 6 - ACIDEZ E ALUMÍNIO TROCÁVEL NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO | 135 |
| FIGURA 7 - SATURAÇÃO DE BASES NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO..... | 136 |
| FIGURA 8 - TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO. | 137 |
| FIGURA 9 - TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO | 138 |
| FIGURA 10 - TEORES DE C E CTC NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO..... | 139 |
| FIGURA 11 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE C ORGÂNICO NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 149 |
| FIGURA 12 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A CTC NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 151 |
| FIGURA 13 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A SATURAÇÃO POR BASES NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 152 |
| FIGURA 14 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O pH (CaCl ₂) NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 153 |
| FIGURA 15 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A ACIDEZ POTENCIAL (H ⁺ AL) NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 157 |
| FIGURA 16 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE CA NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 158 |
| FIGURA 17 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE MG NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 159 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 18 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE K^+ NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 160 |
| FIGURA 19 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE P NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 162 |
| FIGURA 20 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE CR NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 171 |
| FIGURA 21 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Ni NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 172 |
| FIGURA 22 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Pb NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD..... | 173 |
| FIGURA 23 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Cu NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 174 |
| FIGURA 24 – EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Zn NOS SOLOS LVAD, PVAD E CXBD | 175 |

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os potenciais impactos ambientais da implementação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto em escala real na Região Metropolitana de Curitiba. O estudo avaliou as condições de produção, qualidade e a aplicação do lodo na agricultura, através da análise de informações operacionais do programa de reciclagem implementado em setembro de 2000, de propriedades químicas e conteúdo de metais pesados em três solos representativos utilizados para disposição do lodo na RMC. As análises de caracterização do material demonstram o valor agrônomo do lodo principalmente pelos teores de N, C e poder corretivo. Os níveis de metais pesados observados foram significativamente inferiores aos limites normativos locais e internacionais. O perfil sanitário mostrou-se adequado à modalidade de uso empregada, segundo diretrizes internacionais, embora tenham sido verificados lotes superiores aos limites normativos paranaenses. A utilização de lodo foi mais relevante em culturas de gramíneas (milho e pastagens), totalizando 82,8% do lodo reciclado, seguido por fruticultura, grama, feijão e erva-mate. As dosagens médias foram de 7,98 t M.S./ha. Os níveis de N e metais pesados adicionados aos solos através do lodo atenderam às condições de segurança ambiental. A avaliação sócio-econômica dos agricultores demonstrou índice de aceitabilidade do lodo como insumo agrícola de 88,23%. As principais dificuldades apontadas pelos agricultores foram o odor e a dificuldade de aplicação. Os efeitos do lodo sobre os parâmetros de fertilidade do solo variaram em função das taxas de aplicação e dos tipos de solos, observando-se influências significativas sobre a acidez do solo, teores de Ca, Mg, K e P, CTC e V%. Superdosagem de lodo resultou em elevação do pH a níveis superiores a 7,5. Foi verificado aumento dos teores de Zn e Cu apenas em solo onde ocorreu superdosagem de lodo, ainda assim, significativamente inferiores aos limites definidos pela normatização. Atualmente são produzidas em Curitiba cerca de 9,906 t M.S. de lodo de esgoto diariamente, com perspectivas de incremento em curto prazo com os descartes de novos sistemas ainda em estágio inicial de operação.

ABSTRACT

The objective of this work is evaluating the potential ambient impacts of the implementation of the agricultural recycling of the sludge of sewer in real scale in the region metropolitan of Curitiba. The study it evaluated the conditions of production, quality and the application of the sludge in agriculture, through the analysis of operational information of the program of recycling implemented in September of 2000, the chemical properties and heavy metal content in three used representative ground for disposal of the sludge in the RMC. The analyses of characterization of the material point the agronomical interesting for the use of the sludge mainly for texts of N, C and corrective power. The observed heavy metal levels had been significantly inferior to the local and international normative limits. The sanitary profile revealed adequate to the modality of use used, according to international lines of direction, even so have been verified superior lots to the paranaenses normative limits. The sludge use was more excellent in cultures of grassy (maize and pastures), totalizing 82.8% of the recycled sludge, followed for fruitculture, grass, beans and mate tea tree. The average dosages had been of 7,98 t D.M./ha. The levels of N and heavy metals added to ground through the sludge had taken care of to the conditions of ambient security. The partner-economic evaluation of the agriculturist demonstrated the index of acceptability of the sludge as fertilizer of the 88,23%. The main difficulties pointed for the agriculturists had been the odor and the difficulty of application. The effect of the sludge on the parameters of fertility of the ground had varied in function of the application taxes and of the types of ground, observing significant influences on the acidity of the ground, texts of Ca, Mg, K and P, CTC and V%. Super dosage of sludge the resulted in rise of pH the superior levels of 7,5. Increase of texts of Zn and Cu only in ground was verified where super dosage of sludge occurred, still thus very inferior to the restrictive limits. Currently they are produced in Curitiba about 9,906 t D.M. of sewer sludge daily, with perspectives of increment in short-time with the discharging of new systems still in initial period of training of operation, pressuring the SANEPAR for adjusted alternatives of final disposal.

1. INTRODUÇÃO

A disposição final do lodo de esgoto vem se caracterizando como um dos problemas ambientais urbanos mais relevantes da atualidade, e que cresce diariamente tanto em países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, como reflexo da ampliação das redes de coleta de efluentes urbanos e incremento dos níveis de tratamento. A importância desta prática foi reconhecida na Agenda 21, através do tema “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”, que define como orientações básicas para a gestão de resíduos a minimização da produção, o incentivo e aproveitamento máximo das tecnologias de reutilização e reciclagem e o tratamento e disposição ambientalmente saudáveis.

No Brasil, a questão representa um problema emergente e com perspectivas de rápido agravamento a medida em que se implantam e operam efetivamente os sistemas de coleta e tratamento de esgotos. Atualmente apenas de 40% da população brasileira dispõem de coleta de esgoto (ANDRADE NETO e CAMPOS, 1999), e cerca de 10% do esgoto coletado sofre algum processo de tratamento (IBGE, 1998). Este problema será ainda mais agravado com a perspectiva de inclusão de 70 milhões de habitantes urbanos às redes de coleta nos próximos anos (ANDREOLI e PEGORINI, 1998).

O problema torna-se ainda mais preocupante nos grandes centros urbanos. Curitiba, capital e maior cidade do Estado do Paraná, conta, com uma população de 1.580.505 habitantes. Desta população, aproximadamente 60% é atendida pelas redes de coleta de esgoto e 48% com coleta e tratamento, resultando em um potencial de produção de 120 toneladas diárias de lodo de esgoto com 15 % de matéria seca (ANDREOLI et al., 2000).

Apenas a Estação de Tratamento de Esgotos Belém (ETE-Belém), principal e maior unidade em operação no Estado, gera 65 toneladas (15% matéria seca) diariamente do resíduo, dos quais cerca de 50% são usados na agricultura e o restante, dispostos em lagoas de secagem próximas à ETE (USOECT, 2001). As áreas

disponíveis para armazenamento nesta ETE, encontram-se atualmente bastante limitadas, exigindo a definição urgente de outras alternativas para disposição final.

Embora o lodo represente volume de apenas 1% a 2% do esgoto tratado, o seu gerenciamento é bastante complexo e tem um custo geralmente entre 20% e 60% dos gastos totais com a operação de uma estação de tratamento de esgoto (VESELIND et al., 1988). Além da sua importância econômica, a destinação final do lodo é uma operação bastante complexa e impactante sobre o meio ambiente, muitas vezes ultrapassando os limites da ETE.

Normalmente o lodo é disposto em aterros sanitários, exclusivos ou em co-disposição com lixo, em lagoas próximas às ETEs, em superfície nos solos, no oceano, incinerado ou utilizado na agricultura. Entre as diversas opções, a reciclagem na agricultura destaca-se em todo o mundo como a alternativa mais promissora sob os aspectos ambiental e econômico, além de reconhecida tecnicamente como uma solução definitiva para a questão, por transformar um resíduo em insumo.

Para as condições de clima tropical e subtropical, que expõem o solo a um intenso intemperismo e rápida degradação da matéria orgânica (BRADY, 1990), o uso do lodo pode contribuir para uma agricultura sustentável, como fonte de macro e micronutrientes e material orgânica, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BETTIOL E CAMARGO, 2000).

O processo exige, contudo, a definição de critérios que garantam a segurança do uso e assegurem uma relação duradoura entre as empresas de saneamento e os agricultores, potenciais beneficiários da atividade. A necessidade de adequação do problema não pode considerar a disposição na agricultura apenas como uma forma de equacionar um problema eminentemente urbano.

Os principais entraves associados à reciclagem agrícola do resíduo se devem a contaminação química (metais pesados e poluentes orgânicos) e ao perfil sanitário do lodo. Quando adicionados ao solo através do lodo, estes contaminantes, podem ser disseminados e comprometer a saúde humana e animal e poluir o meio ambiente (SANEPAR, 1997; USEPA, 1997).

Estes trabalho objetiva avaliar o Programa de Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto na RMC sobre os seguintes pré-requisitos da atividade:

- produção de um insumo de qualidade, garantindo a adequação do produto ao uso agrícola;
- definição de restrições de uso aos solos e de alternativas técnicas que proporcionem ao agricultor maior produtividade e rentabilidade;
- segurança ambiental e sanitária do lodo de esgoto; e
- impactos positivos e negativos do uso do lodo nos solos da região

Estudos desenvolvidos no âmbito do Programa Interdisciplinar de Reciclagem Agrícola de Lodo no Paraná, estabeleceram limites preliminares de conteúdo de metais pesados para o lodo, porém não foram conclusivos para os níveis destes elementos nos solos do Estado em função das grandes discrepâncias ambientais. Diante da necessidade de avaliação destes fatores a nível regional, a implementação da reciclagem em escala real na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) permite uma análise sistêmica da contaminação sobre as diferentes condições de material de origem e intemperismo dos solos da região. Permite ainda, avaliar os benefícios da aplicação do lodo sobre a fertilidade destes solos e o reflexo sobre a rentabilidade para o agricultor.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar as condições de operacionalização e os potenciais impactos socio-ambientais da utilização do lodo de esgoto na Região Metropolitana de Curitiba (RMC).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a produção e o processamento do lodo de esgoto distribuído aos agricultores na RMC
- b) Avaliar a qualidade do lodo disponibilizado aos agricultores da RMC, sob os aspectos:
 - valor fertilizante
 - sanidade
 - conteúdo de metais pesados
- c) Avaliar o processo de utilização:
 - metodologia de seleção e características das áreas utilizadas pelo programa de reciclagem de lodo na RMC
 - critérios de recomendação agronômica e taxas de lodo utilizadas: quantidade de matéria seca, N, P e carga de metais aplicadas aos solos
- b) Avaliar as condições de aptidão dos solos cadastrados e utilizados para disposição agrícola do lodo na RMC
- c) Investigar a contaminação de três solos característicos da RMC com metais pesados pela aplicação do lodo de esgoto.
- d) Avaliar comparativamente às práticas usuais de fertilização, o efeito do lodo de esgoto sobre as características químicas de três solos da RMC.

- e) Efetuar diagnóstico das condições socio-econômicas dos agricultores que utilizaram lodo na RMC entre setembro de 2000 e maio de 2001.
- f) Avaliar a aceitabilidade e potencialidade de utilização do lodo entre os agricultores beneficiados com a utilização do lodo na RMC.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto é o principal resíduo gerado durante o processo de tratamento das águas residuais urbanas (esgotos). Mesmo com o avanço significativo no desenvolvimento de modernas tecnologias para o processamento deste resíduo nos últimos anos, a sua disposição final continua representando um desafio em todo o mundo (IAWQ, 1999). Entre as consequências de práticas inadequadas de disposição do dejetos, cita-se a redução da eficiência técnica da ETE, a degradação dos recursos naturais e as consequências sobre o perfil sanitário da população.

As soluções mais utilizadas nos países desenvolvidos como forma de equacionamento do problema tem sido: o uso agrícola, a disposição em aterros, a disposição oceânica, a incineração e a recuperação de áreas degradadas (TSUTYA, 2000). Segundo USEPA (1999), as formas de uso benéfico correspondem a disposição de 60 % das quase 8 milhões de toneladas do resíduo produzidas em 1998 nos EUA. Na comunidade europeia, segundo DAVIS e HALL (1997), 40% do lodo é disposto em aterros e 37% utilizados na agricultura.

As tendências apontam para um crescimento ainda maior para as alternativas de reciclagem, tanto na Europa quanto nos EUA, para os próximos anos, face à crescente disposição ambiental desta alternativa e aos elevados custos das outras modalidades de disposição. Os aterros sanitários, além da tecnologia sofisticada e do alto custo (CARVALHO E BARRAL, 1981; ANDREOLI e PEGORINI, 1998), serão severamente limitados, a partir de 2002 na Europa e 2004 nos EUA, devido a proibição da disposição de resíduos recicláveis estabelecido pela pequena disponibilidade de locais adequados para implantação de aterros sanitários (FERNANDES, 1997)

O interesse pela aplicação do lodo de esgoto na agricultura vem aumentando pelo baixo custo dessa prática, bem como pelos benefícios sobre as propriedades físicas e químicas dos solos que a matéria orgânica e os nutrientes podem proporcionar, e pelo conseqüente incremento da atividade biológica (CARVALHO e BARRAL, 1981).

Há milênios a matéria orgânica é considerada fonte de fertilidade para os solos (KIEHL, 1985) e, por esta razão, resíduos orgânicos provenientes das atividades humanas são usados como fertilizantes há milhares de anos pelos chineses, japoneses e indianos (OUTWATER, 1994).

A alternativa da reciclagem tem o grande benefício de transformar um resíduo problemático e de difícil disposição em um importante insumo agrícola, fornecendo matéria orgânica e nutrientes ao solo (FERNANDES et al., 1993; CLAPP et al., 1986; BUNDGAARD E SAAYBE, 1992; ANDREOLI, 1999; CARVALHO e BARRAL, 1981). Num sentido mais amplo, traz também vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente, tais como: a redução dos efeitos negativos da incineração, da dependência de fertilizantes químicos e melhoria do balanço do CO₂ da biosfera, pelo incremento da matéria orgânica do solo (OUTWATER, 1994; LAL et al., 1995).

Esta alternativa alia baixo custo e impacto ambiental positivo, quando é realizada dentro de critérios seguros. Depende, contudo, de um adequado planejamento, que considere um amplo conjunto de informações, tais como: estimativa de produção, avaliação da qualidade, aptidão das áreas de aplicação, organização e operação da distribuição, alternativas de higienização, adequações necessárias a ETE e monitoramento ambiental (SANEPAR, 1998).

Deve-se garantir a disponibilização de um insumo de boa qualidade para a agricultura, com segurança sanitária e ambiental à população. As experiências negativas de uma prática inadequada podem inviabilizar essa alternativa no futuro, face às resistências que podem gerar na sociedade, decorrentes dos potenciais danos ambientais, agronômicos e sanitários (BONNET, 1995). Finalmente é importante destacar que independente da opção preconizada, qualquer forma de disposição do

lodo apresenta riscos e impactos ambientais potenciais (ANDREOLI e PEGORINI, 2000).

Para o setor de saneamento, o uso benéfico do lodo representa uma alternativa de grande alcance para um problema grave e que tende a se acentuar ainda mais nos próximos anos. Dados do IBGE (2000) apontam que atualmente, 97,9 % dos municípios brasileiros apresentam serviço de abastecimento de água, enquanto apenas 33,5 % são atendidos com coleta de esgoto. Do volume total de esgoto coletado, apenas 35,3% recebem tratamento adequado, dos quais não se tem estimativa do lodo produzido, nem do destino final que recebe. A perspectiva de aumento da produção de lodo é consequência da melhoria dos níveis de saneamento básico da população, e representa um setor em expansão.

3.1.1. Panorama Mundial

A reciclagem agrícola dos lodos de esgoto representa uma prática com grandes perspectivas no Canadá, onde 29% do lodo produzido é reciclado segundo os parâmetros normativos da EPS - Environmental Protection Service (BRADLEY et al, 1992). O autor toma como exemplo a experiência canadense ressaltando que embora esteja fundamentada sobre informações científicas, enfrenta “bolsões” de resistência pública em função de experiências mal sucedidas do passado e informações incorretas.

Atualmente as principais formas de disposição final utilizadas na Europa e Estados Unidos são: disposição em aterros e a reciclagem na agrícola. Nos EUA, 60% do lodo produzido é reutilizado como fertilizante na agricultura e há perspectiva para crescimento da disposição no solo de 70% - tabela 1- (EPA, 1999).

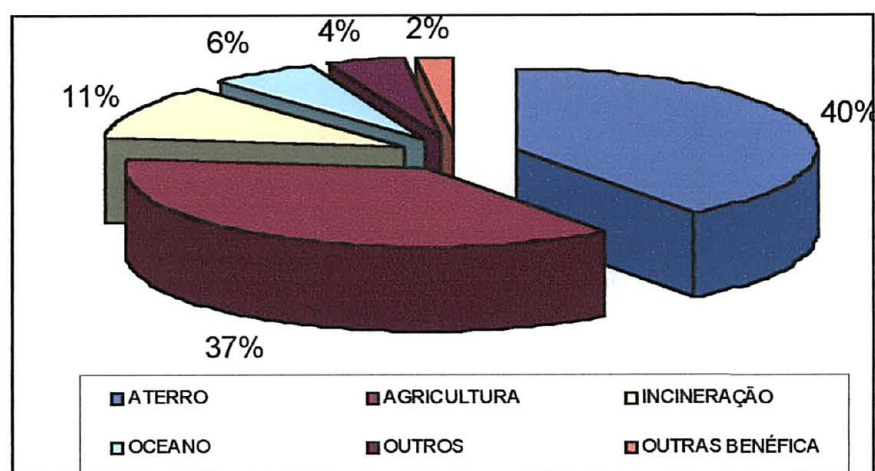
TABELA 1. PROJEÇÕES DE USO E DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESGOTO NOS EUA EM 1998 E PROJEÇÕES PARA 2000, 2005 E 2010.

| Ano | Usos Benéficos | | | | Disposição | | | |
|------|----------------------|------------------------|------------------------|-------|------------|-------------|--------|-------|
| | Reciclagem Agrícola. | Tratamentos Avançados. | Outros Usos Benéficos. | Total | Aterro | Incineração | Outros | Total |
| 1998 | 41% | 12.0% | 7.0% | 60% | 17% | 22% | 1% | 40% |
| 2000 | 43% | 12.5% | 7.5% | 63% | 14% | 22% | 1% | 37% |
| 2005 | 45% | 13.0% | 8.0% | 66% | 13% | 20% | 1% | 34% |
| 2010 | 48% | 13.5% | 8.5% | 70% | 10% | 19% | 1% | 30% |

FONTE: EPA (1999)

Na Europa, os aterros constituem a forma predominante de disposição, com 40 % das 8,9 milhões de toneladas M.S. (matéria seca) produzidas anualmente, seguido pela reciclagem, com 37% (figura 1) (DAVIS E HALL, 1997). Contudo o uso agrícola apresenta tendências crescentes. (SPERLING et al., 2001)

FIGURA 1.DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO NA EUROPA, 1997



FONTE: DAVIS E HALL, 1997

Comparados aos dados de 1984, os autores afirmam que a disposição na agricultura aumentou em proporções mais acentuadas que nos aterros, cerca de 18% contra 5% ,respectivamente, com um crescimento da produção de lodo da ordem de 16%. Comparado aos resultados de 1984, verifica-se também um aumento significativo da incineração (38%) embora ela represente apenas 11% do volume disposto anualmente.

Entre os Países membros se verificam grandes variações, reflexos das peculiaridades ambientais, sociais e normativas de cada região. Com relação à disposição em aterros, seis países utilizam os aterros como principal opção de disposição final, variando de 8% (Reino Unido) a 90%(Grécia e Luxemburgo), enquanto a reciclagem agrícola representa a alternativa predominante em apenas quatro países, variando de 10 % (Grécia e Irlanda) a 60 % (França). A Alemanha é o país membro que destina a maior quantidade de lodo para a agricultura, com 730.000 t ms/ano, seguido da França e do Reino Unido, ambos com 500.000 t M.S./ano. A Alemanha também é responsável pelo maior volume disposto em aterros 1,46 milhões

de toneladas de M.S./ano, seguido pela Itália e França (DAVIS e HALL, 1997).

Embora as pressões ambientais nestes países criem restrições cada vez maiores às atividades que afetam o meio ambiente, as políticas de disposição final de resíduos da Comunidade Econômica Européia (CEE) reconhecem a reciclagem como opção preferencial à incineração ou aos aterros. As diretivas encaram o lodo para reciclagem como um recurso, não como um resíduo (DAVIS e HALL, 1997).

Até 1988, operavam no Japão 736 ETEs gerando aproximadamente 1,36 milhão de toneladas de lodo (M.S.), das quais 58% eram incineradas, 11,5% utilizadas na agricultura, 3,5% na construção civil e o restante eram dispostos em aterros. (BRADLEY et al, 1992 in LUE-HING et al., 1992) KASUNAGI et al. (2001) aponta produção de lodo no Japão de 1,86 milhões de toneladas MS em 2001, e um crescimento da reciclagem para 15 % do lodo total produzido.

A produção de lodo de esgoto em estações de tratamento de efluentes domésticos de Taiwan está estimada em 29 milhões de m³ / ano, a maior parte disposta em aterros (HSIAU e LIEN LO, 2001). No entanto, segundo os autores, esta modalidade de disposição pode ser inviabilizada pela legislação ambiental do País a curto prazo, que incentivam as modalidades de reuso.

Na Nova Zelândia a expectativa de produção de lodo de esgoto para o ano de 2000 era de 55.000 t MS. A principal modalidade de disposição no país são os aterros responsáveis por 40% da produção, o uso em terras agrícolas, jardins, florestas e recuperação de áreas degradadas juntas absorvem cerca de 50% da produção (BRADLEY et al, 1992).

Na América Latina, segundo YAGUAL e ESCALONA (2001), em cidades como Cidade do México, Buenos Aires, Santiago do Chile, Bogotá, Lima e Guayaquil grande parte do esgoto é descartado “*in natura*” diretamente nos cursos d’água. Com a perspectiva de incremento nos níveis de coleta e tratamento de esgoto no México, BARRIOS et al. (2001) a utilização da reciclagem se apresenta como a mais promissora alternativa de disposição final.

3.1.2. Reciclagem Agrícola no Brasil

A posição brasileira quanto a reciclagem do lodo foi levantada por BONNET (1995) através de consulta às empresas concessionárias do sistema de saneamento em todas as unidades da federação. Das consultas respondidas, seis Estados informaram utilizar alguma forma de reciclagem agrícola, destes, apenas dois declararam desenvolver estudos sobre o tema: Rio Grande do Sul e Distrito Federal. A consulta revelou ainda o descaso da questão para algumas empresas: uma concessionária revelou lançar o lodo diretamente nos rios, e duas praticavam a disposição oceânica.

LARA et al. (1997) aponta forte orientação de Rio de Janeiro e São Paulo à disposição em aterros sanitários, em função da baixa qualidade dos lodos produzidos naqueles estados, fato que parece ter sido revertido em São Paulo, visto a intensificação dos estudos em torno da reciclagem nos últimos anos (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

Segundo a EMBRAPA (2000) existem grandes disparidades quanto ao destino do lodo no Brasil: a CAESB (Companhia de Água e Esgoto de Brasília, DF), dispõe 100% do lodo de esgoto na agricultura, enquanto a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) dispõe 100% em aterros sanitários. Embora levantamento apresentado durante o II Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul (Jaguariúna - 1999), tenha mostrado que em São Paulo existem cerca de 800 mil hectares de reflorestamento, dos quais cerca de 25% têm condições adequadas de distância da fonte geradora, tipo de solo, topografia e distâncias dos mananciais hídricos, que permitem o uso seguro do lodo.

No Distrito Federal, segundo LUDUVICE (2000), a utilização do lodo de esgoto ocorre desde os anos 60, junto à implantação das primeiras ETEs operadas pela CAESB (Companhia de Água e Esgoto de Brasília), mas apenas em 1995 foram definidas diretrizes e orientações que garantissem a qualidade e a segurança do processo. Atualmente o biossólido só é disponibilizado a agricultores cadastrados pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal (EMATER-DF)

e que apresentarem receituário agrônomo.

No Estado de São Paulo, em 1997, a SABESP desenvolveu um plano diretor em que foram avaliadas diversas alternativas para disposição final do lodo de esgoto. As alternativas identificadas como de melhor potencial para a região foram: aterro exclusivo, uso agrícola e incineração. Hoje o Estado está reciclando parte do resíduo produzido na ETE Franca (CETESB, 2002)

No Estado do Espírito Santo, a produção atual de lodo concentra-se principalmente na região da grande Vitória, e o acúmulo vem caracterizando-se como um dos principais problemas na operacionalização desses sistemas. Entre as alternativas de disposição final em análise, a CESAN – Companhia de Saneamento do ES – tem avaliado a reciclagem agrícola em especial, através do departamento de hidráulica da UFES e da EMCAPER.(COSTA et al., 2001)

No Estado do Rio Grande do Sul existem estudos avançados abordando o uso e a definição de critérios para reciclagem do lodo de ETES em solos agrícolas (GOMES et al., 2001).

3.1.3. Disposição Final no Paraná

No Estado do Paraná a SANEPAR é a principal operadora dos serviços de saneamento, distribuindo água potável a 7,3 milhões de pessoas em 342 municípios do Estado. O tratamento de efluentes atende atualmente a 35 % da população do estado em 118 municípios (ANDREOLI et al., 1999), com perspectiva de extensão destes serviços a 80 % nos municípios atendidos pela empresa, aumentando, assim a perspectiva de produção de lodo no Estado.

A empresa, através de diversos programas e convênios com instituições de pesquisa, desenvolve desde 1988 um amplo programa de pesquisas visando desenvolver a tecnologia necessária para a disposição do lodo de esgoto na agricultura de forma agrônomo, sanitária e ambiental adequadas (ANDREOLI et al., 2000). Este Programa, credenciou o Estado do Paraná como referência nacional para gestão de

lodos de esgoto, e embasou o desenvolvimento dos programas de reciclagem implantados com sucesso e aprovação do órgão ambiental e da população em Curitiba e Foz do Iguaçu.

3.2. COMPOSIÇÃO DO LODO E IMPLICAÇÕES PARA USO AGRÍCOLA

O lodo de esgoto constitui o principal resíduo gerado nas estações de tratamento de efluentes (ETE), tanto pelos volumes resultantes, quanto pelo potencial poluidor do material, como pelos custos que representa (VESILIND et al, 1988). Nas ETES, o esgoto bruto é submetido a processos físicos, químicos e biológicos objetivando concentrar e remover a matéria orgânica e os demais poluentes dos efluentes, garantindo, assim, seu retorno ao meio ambiente sem causar poluição. Como resultado destes mecanismos, há formação do lodo, resíduo que concentra grande parte da carga poluidora removida dos efluentes tratados (AISSE et al , 1999).

A quantidade e a composição deste resíduo depende principalmente das características do esgoto afluente ao sistema de tratamento e dos processos utilizados nas ETES (USEPA, 1997.; ANDREOLI e PEGORINI, 2000; MELO e MARQUES, 2000; SILVA et al, 2001; GSCHWIND et al, 1992; BRADY, 1989; McCALLA, PETERSON e LUE - HING, 1977) Quanto melhor a eficiência do sistema de tratamento, melhor será a qualidade da água tratada e maior a produção de lodo (AISSE et al , 1999; ARDERN, 1976). O lodo é geralmente o ponto de concentração dos contaminantes coletados que co-precipitam junto aos flocos biológicos. Contribuições domésticas e comerciais podem conter nitrogênio, fósforo, metais pesados, compostos orgânicos complexos e patógenos, além dos produtos utilizados nos processos das ETES.

3.2.1. Características de Interesse Agrônomo: Matéria Orgânica e Nutrientes

Segundo MELO e MARQUES (2000) o lodo de esgoto contém todos os nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais e pode ser

utilizado como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, substituindo, pelo menos em parte, os fertilizantes minerais. ARDERN (1976) relata resultados semelhantes entre aplicação de lodos e fertilizantes químicos de composição similar em culturas de trigo e pastagens.

De maneira geral, o lodo de esgoto é considerado um material rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e alguns micronutrientes (CLAPP et al., 1986; BUNDGAARD e SAAYBE, 1992; MARCHIORI JUNIOR et al, 1998; MENDES, 1981; GSCHWIND e PIETZ, 1992; VESILIND et al, 1988; McCALLA, PETERSON e LUE - HING, 1977; BRADY, 1989). A tabela 2 apresenta resultados analíticos da composição em macronutrientes de lodos de esgoto produzidos em ETEs oriundas de diferentes cidades brasileiras.

TABELA 2. TEOR DE NUTRIENTES E CARBONO EM DIVERSOS TIPOS DE BIOSSÓLIDOS UTILIZADOS EM EXPERIMENTOS NO BRASIL (% DE MATÉRIA SECA).

| Estação | Tipo de lodo | N | P | K | C org. | Ca | Mg | Fonte |
|------------------------|----------------------------|------|------|------|--------|------|------|---------------------|
| Barueri (SP) | Lodo ativado | 2,25 | 1,48 | 0,01 | 21,00 | 7,29 | | TSUTYA (2000) |
| Franca (SP) | Lodo ativado | 9,15 | 1,81 | 0,35 | 34,00 | 2,13 | | TSUTYA (2000) |
| Belém (PR) | Lodo ativado | 4,19 | 3,70 | 0,36 | 32,10 | 1,59 | 0,60 | SANEPAR (1997) |
| UASB (PR) | Anaeróbio | 2,22 | 0,67 | 0,95 | 20,10 | 0,83 | 0,30 | SANEPAR (1997) |
| ETE SUL (DF) | Aeróbio | 5,35 | 1,70 | 0,18 | 34,72 | 2,68 | 0,41 | SILVA et al (2000) |
| Eldorado (ES) | Lagoa anaeróbia | 2,00 | 0,20 | 0,04 | | | | MULLER (1998) |
| Mata da Serra (ES) | Lagoa facultativa primária | 2,00 | 0,20 | 0,05 | | | | MULLER (1998) |
| Valparaíso (ES) | Lagoa de sedimentação | 4,00 | 3,50 | 0,07 | | | | MULLER (1998) |
| Ribeirão Piracicamirim | | 2,91 | 1,38 | 0,16 | 29,20 | 2,08 | | SIMONE et al (1999) |

Estas análises mostram valores semelhantes aos encontrados por MENDES (1981), que afirma que o lodo de esgoto geralmente contém entre 40% e 80% de matéria orgânica e teores de N e P normalmente maiores que os índices observados nos materiais orgânicos de uso habitual no Paraná (estrumes, tortas e compostos). Também são compatíveis com as concentrações médias de N (5,27 %) e P (0,5%) indicadas por GSCHWIND e PIETZ (1992) em lodos dos EUA.

Comparativamente a outros resíduos orgânicos, a CAESB (1996) observou que o lodo apresenta teores de nitrogênio e fósforo acima dos demais (Tabela 3). Lembra, no entanto, que tanto o lodo de esgoto como os demais resíduos orgânicos

podem apresentar variações em suas composições de acordo com o local de origem, a época e as características de produção dos resíduos.

TABELA 3. RESULTADOS COMPARATIVOS DE MACRONUTRIENTES PARA DIVERSOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.

| Tipo de resíduo | Nitrogênio | Fósforo | Potássio | Matéria Orgânica |
|------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| Lodo de esgoto - CAESB | 6,27 | 8,15 | 0,36 | 51,5 |
| Esterco de galinha | 5,00 | 2,00 | 2,00 | - |
| Húmus de minhoca | 1,50 | 1,90 | 0,20 | 80,0 |
| Adubo de lixo | 0,70 | 0,56 | 0,68 | 35,0 |

FONTE: CAESB (1996).

RAIJ (1998) considera o N e o P como os elementos mais importantes do lodo para uso agrícola. Os demais macronutrientes estão presentes em quantidades menores e o autor considera seu efeito pouco importante.

Quanto ao potássio, as concentrações são pequenas; devido a alta solubilidade do elemento, normalmente é removido na fase líquida dos processos de tratamento (TSUTYA, 2000). Para GSCHWIND e PIETZ (1992) os teores deste elemento em lodos, geralmente, são muito baixos para considerá-lo como fonte de potássio. Os elementos Ca e Mg são encontrados em pequenas quantidades, salvo naqueles biossólidos higienizados através da calagem, quando grandes quantidades de Ca e Mg são adicionadas (SANEPAR, 1997).

A utilização do lodo de esgoto pode contribuir ainda como fonte de micronutrientes essenciais às plantas, proporcionando maiores resultados em solos deficientes, no entanto, em função de sua concentração no lodo, níveis tóxicos podem ser atingidos (DESCHAMPS e FAVARETO, 1999; ANDREOLI e PEGORINI, 2001). ARDERN (1976) destaca o interesse na composição de microelementos em lodos, mas lembra que cuidados devem ser observados quanto a metais pesados. As quantidades de microelementos são variáveis nos lodos (Tabela 4), contendo, geralmente, quantidades apreciáveis de Cu, Zn e Mn e menores de B, Mo e Cl.

TABELA 4. TEOR DE MICRONUTRIENTES (PPM) EM DIVERSOS TIPOS DE BIOSSÓLIDOS UTILIZADOS EM EXPERIMENTOS NO BRASIL.

| Estação | Tipo de lodo | B | Fe | Cu | Zn | Mn | Mo | Fonte |
|---------------------------|--------------|-----|--------|-----|-------|-----|----|-----------------------|
| Barueri (SP) | Ativado | | | 703 | 1.345 | | 23 | TSUTYA (2000) |
| Franca (SP) | Ativado | 118 | 42.224 | 98 | 1.868 | 242 | 9 | TSUTYA (2000) |
| Belém (PR) | Aeróbio | | | 439 | 864 | | | SANEPAR (1997) |
| RALF (PR) | Anaeróbio | | | 89 | 456 | | | SANEPAR (1997) |
| SUL (DF) | Aeróbio | 22 | 20.745 | 186 | 1.060 | 143 | | SILVA et al (2000) |
| Ribeirão Piracicamirim | | | | 161 | 939 | 173 | | SIMONETE et al (1999) |

O lodo de esgoto, devido ao conteúdo orgânico, além de adicionar matéria orgânica ao solo, apresenta propriedades de condicionador de solo (RAIJ, 1998)

3.2.2. Componentes Indesejáveis: Patógenos, Metais Pesados e Compostos orgânicos Complexos.

Alguns componentes dos esgotos concentram-se no lodo durante os processos de tratamento. Destes, vários conferem características que agregam valor ao lodo, como nutrientes e material orgânico. No entanto, outros, pelo risco sanitário e ambiental, são indesejáveis (SILVA et al., 2001). Estes componentes são genericamente agrupados em: agentes patogênicos, metais pesados e poluentes orgânicos.

3.2.2.1. Patógenos

O lodo contém uma grande variedade de microrganismos. A maioria não oferece riscos a saúde humana ou animal, pois são saprófitas e desempenham função importante no tratamento biológico do esgoto. Por outro lado, existe uma pequena parte constituída por vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos que são patogênicos (THOMAZ-SOCCOL E PAULINO, 2000). A limitação de uso do lodo para fins benéficos devido à presença destes organismos é enfatizada em nível mundial (BUNDGAARD E SAABYE, 1992).

A presença destes organismos no lodo é bastante variável e reflete o perfil sanitário da população e do meio, incluindo a presença de animais, dejetos animais,

industrias e lixo, atendidos pela rede de coleta de esgotos (THOMAZ-SOCCOL E PAULINO, 2000). Uma vez presentes no esgoto, grande parte destes organismos co-precipitam junto ao lodo durante os processos de tratamento do esgoto, concentrando-se no lodo (HAYS, 1977 citado por SANEPAR, 1997).

Os agentes bacterianos mais freqüentes são: *Salmonella* spp., *Shigella* sp., *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae*, *Leptospira* sp.. Dentre os agentes virais podem ser citados: vírus da hepatite A, rotavírus, enterovírus, reovírus. Quanto aos protozoários são encontrados: *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* e *Toxoplasma gondii*. Dentre os helmintos os mais freqüentes são: *Ascaris lumbricoides*, *Ascaris suum*, *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Taenia solium*, *T. saginata*, *Necator americanus* e *Hymenolepis nana* (BONNET, 1995).

Estes organismos representam risco a saúde pública e animal através da contaminação de alimentos cultivados em solos fertilizados com lodo, arrastados através do escoamento superficial até corpos hídricos ou transmitidos por vetores como insetos, pequenos animais roedores e pássaros (EPA, 1997). Por esta razão a normatização americana (CFR part 503 da EPA) estabelece limites para presença destes elementos no lodo e freqüentemente exige processos de redução (higienização) nestes materiais.

A tabela 5 apresenta valores típicos os principais patógenos presentes em lodos brutos e digeridos anaerobiamente nos EUA.

TABELA 5. CONCENTRAÇÃO TÍPICA DE PATÓGENOS EM LODOS BRUTOS E DIGERIDOS ANAEROBIAMENTE NOS EUA.

| Patógeno | Lodo Bruto (NMP/100mL) | Lodo Digerido (NMP/100mL) |
|-------------------|---------------------------|------------------------------|
| Vírus | 2.500 - 70.000 | 100 - 1.000 |
| Coliformes fecais | 1.000.000.000 | 30.000 - 6.000.000 |
| Salmonella | 8.000 | 3 - 62 |
| Helmintos | 200 - 1.000 | 0 - 1.000 |

FONTE: EPA (1993)

FERNANDES e ANDREOLI (1996) num estudo de caracterização dos tipos de lodo de esgoto produzidos no Paraná para disposição agrícola, obtiveram os índices de contaminação apresentados na tabela 6 para concentração de quatro parâmetros

microbiológicos e três parasitológicos no lodo da ETE Belém.

TABELA 6. CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE PATÓGENOS INDICADORES EM 17 AMOSTRAS DE LODO DA ETE BELÉM.

| Parâmetros Microbiológicos | | | | Parâmetros Parasitológicos | | |
|----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|------------------------|
| Colif. Totais | Colif. Fecais(*) | Salmonella sp | Estreptococos | Ovos de Helmintos | Larvas de helmintos | Cistos de protozoários |
| NMP / 100 g de M.S de Lodo | | | | NMP / 100 g de lodo (M.S.) | | |
| $7,4 \times 10^8$ | $86,4 \times 10^6$ | 17 % ^(*) | $36,7 \times 10^6$ | 429 | 207 | 2,4 |

Fonte: FERNANDES e ANDREOLI., 1996.

(*) Percentagem das amostras onde foi encontrado o organismo

Os ovos de helmintos e os coliformes fecais são utilizados com frequência como indicadores da sanidade do lodo (ANDREOLI e PEGORINI, 2000; SILVA et al., 2001; BONNET, LARA e DOMASZAK, 1998), considerando-se que uma vez controlados estes parâmetros, os demais estarão automaticamente em níveis admissíveis, não proporcionando riscos aos usuários do produto e ao ambiente. (ANDREOLI e PEGORINI, 2000; THOMAZ-SOCCOL e PAULINO, 2000)

O tabela 7 apresenta os conteúdos destes organismos patogênicos em biossólidos de algumas ETES no Brasil.

TABELA 7. PRESENÇA DE ELEMENTOS PATOGENICOS EM BIOSSÓLIDOS DE ALGUMAS ETES.

| Estação | Tipo de lodo | Helmintos | Coliformes fecais |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Sul (DF) | Lodo estabilizado | 13 ovos viáveis / g M.S. | 106 NMP/g |
| Belém (PR) | Lodo estabilizado | 9,02 ovos / g M.S. | $6,17 \times 10^6$ NMP / g |
| Belém (PR) | Lodo estabilizado e caleado | 0,04 ovos viáveis / g M.S. | < 200 NMP / g |
| Ralf (PR) | Lodo estabilizado | 5,02 ovos viáveis / g M.S. | |
| Ralf (PR) | Lodo estabilizado e caleado | 0 ovos viáveis / g M.S. | |
| Lagoa (ES) | Lodo lagoa facultativa | 4,2 ovos viáveis / g M.S. | $4,9 \times 10^4$ NMP / g |
| Barueri (SP) | Lodo estabilizado | 0,25 ovos viáveis / g M.S. | |
| Franca (SP) | Lodo estabilizado | 0,9 ovos viáveis / g M.S. | $7,6 \times 10^5$ NMP / g |
| Legislação Paranaense | | 0,25 ovos viáveis/g M.S. | 10^3 NMP/g M.S. |

FONTE: ADAPTADO DE THOMAZ-SOCCOL (1999), TSUTYA (2000), LUDUVICE (2000) E GONÇALVES (2000)

Ao contrário da maioria dos patógenos existentes no lodo de esgoto, o ciclo biológico dos principais helmintos, apresenta formas resistentes a condições edáficas. Segundo THOMAZ-SOCCOL, PAULINO e CASTRO, (1999), ovos de alguns destes organismos podem ser resistentes a variações bruscas nas condições físicas e químicas do meio, o que os torna capazes de sobreviver por vários anos no solo.

A reciclagem agrícola possibilita a exposição do homem e dos animais aos agentes patogênicos através do contato direto com o lodo; ou indiretamente, através da

dispersão destes pelo solo, pelo ar, pela água e pelos alimentos (USEPA, 1997).

Para a EPS (1984), são poucas as evidências de transmissão de doenças devido ao uso agrícola de lodos após tratamento. A presença de patógenos, ainda que acentuadamente reduzida através de processos de desinfecção, podem disseminar pelo meio e contaminar a população (ILHENFELD et al., 1999). A USEPA (1979) apresenta alguns relatos de infecção humana atribuídos a aplicação de lodos, no entanto não menciona as condições em que ocorreram. O mesmo autor cita outro caso a partir do consumo de carne de gado alimentado em pastagem fertilizada com lodo. Daí a importância de certificar-se que cada lote de lodo aplicado na agricultura atenda os padrões sanitários estabelecidos pela legislação, principalmente aqueles submetidos a processos de higienização como a calagem e a compostagem.

3.2.2.1.1. Processos de higienização

Embora os lodos de esgoto produzidos nas ETEs brasileiras comumente apresentem um perfil biológico bastante contaminado, este fator é facilmente controlado através dos processos de higienização (FERREIRA et al., 1999). Neste contexto, a higienização tem como principal objetivo eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos patogênicos, constituindo-se em importante ferramenta para a ampliação do leque de opções seguras para manuseio e disposição no solo (GONÇALVES e LUDOVICE, 2000).

Os principais fatores envolvidos na higienização do lodo referem-se a pH, temperatura, umidade, aeração e tempo de tratamento. Os processos mais comuns de higienização são: a pasteurização do lodo, digestão anaeróbia mesofílica, digestão aeróbia termofílica, compostagem, estabilização alcalina, secagem térmica e armazenamento, irradiação, além de outros. (LUE-HING et al., 1992)

As tecnologias de higienização têm como alvo principal os ovos de helmintos, devido a dose infectante destes organismos ser extremamente baixa, e por serem os organismos mais resistentes a condições adversas do meio, podendo

sobreviver no solo por vários anos. Segundo a EPA (1984), o tempo de sobrevivência máximo dos principais patógenos no solo é de 75 dias para as bactérias, 12 dias para vírus, 8 para protozoários e dois anos para helmintos.

Existem várias tecnologias para a redução de agentes patogênicos em biossólidos, partindo de alternativas mais simples, como a calagem, até processos mais complexos e onerosos, como a irradiação beta ou gama. Os processo mais usuais são a compostagem, a caleação, e a secagem térmica (FERREIRA et al., 1999)

A calagem constitui-se em método de estabilização e higienização química através da adição e mistura de cal ao lodo de esgoto em altas dosagens. Como resultado ocorre alcalinização brusca do meio, elevando o pH a níveis ligeiramente superiores a 12 por algumas horas, associado a aumento da temperatura cima de 60 °C e a liberação de amônia, destruindo ou inativando a maior parte dos patógenos presentes no resíduo,. (SANEPAR, 1999; BURNHAM et al., 1992).

FERNANDES et al. (1996) investigando os processos de caleação e compostagem na eliminação de organismos patogênicos de lodo de esgoto proveniente da ETE-Belém (Curitiba) encontrou níveis diferenciados de eficiência em função da quantidade de cal adicionada ao lodo (tabela 8).

TABELA 8. PRESENÇA DE ORGANISMOS PATOGENICOS EM LODO DE ESGOTO DA ETE-BELÉM SUBMETIDO A HIGIENIZAÇÃO ATRAVÉS DA CALAGEM A 30 %, 40 % E 50 % M.S.

| Tipo de Lodo | Colif. totais | Colif. Fecais | Estreptococos fecais | Salmonella | Ovos de helmintos | Larvas de helmintos | Cistos protozoário |
|----------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| | NMP/100g | NMP/100g | NMP/100g | p/a em 25 g | em 100g | em 100 g | em 100g |
| Lodo Bruto | $7,54 \times 10^8$ | $86,4 \times 10^6$ | + 17% | $36,7 \times 10^6$ | 429 | 207 | 2.4 |
| L. Calado 30 % | $1,77 \times 10^5$ | < 200 | ausente | $0,9 \times 10^3$ | 151 | ausente | ausente |
| L. Calado 40% | $257,84 \times 10^3$ | < 200 | ausente | $7,3 \times 10^5$ | 85 | 1,75 | ausente |
| L. Calado 50 % | $3,47 \times 10^4$ | < 200 | ausente | < 200 | 40 | ausente | ausente |

FONTE: FERNENDES et al. (1996)

GASPARD, WIART e SCHWARTZBROD (1996), realizaram estudos sobre higienização do lodo através da calagem a partir de diferentes concentrações de cal, de matéria seca e processos de tratamento foram utilizados. Estes autores observam que a cal nas concentrações de 30% e 40% requer um tempo de estocagem do lodo de 90

dias para inviabilizar 100% dos ovos de *Ascaris* sp. Na concentração de 50% o percentual de redução requerido pela I.N. IAP foi obtido em 30 dias.

A compostagem é um processo biológico de degradação da matéria orgânica. Os microrganismos degradam o material orgânico do lodo, geralmente em mistura com outros resíduos orgânicos, em processos exotérmicos, gerando calor e mantendo a temperatura entre 55 e 65 °C por alguns dias, reduzindo ou inviabilizando os organismos patogênicos do lodo a níveis apropriados para a utilização na agricultura. (SANEPAR, 1999)

A tabela 9 apresenta os resultados obtidos por FERNANDES et al. (1996) da eficiência do processo de compostagem do lodo com bagaço de cana-de-açúcar.

TABELA 9. TEORES INICIAIS DE PATÓGENOS, ELIMINAÇÃO E PERCENTUAL DE REDUÇÃO APÓS FASE TERMÓFILA EM COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO COM BAGAÇO DE CANA..

| Dia | Coliformes totais | Coliformes fecais | Estreptococos fecais | Ovos de helmintos | Larvas de helmintos | Cistos de Protozoários |
|------------|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|
| | NMP / 100g | | | Unidades / g | | |
| 0 | $5,59 \times 10^8$ | $2,68 \times 10^8$ | $2,76 \times 10^7$ | 1415 | 273 | ausente |
| 30 | $2,10 \times 10^8$ | $9,14 \times 10^4$ | $4,4 \times 10^6$ | 204,5 | 119 | 51 |
| Redução -% | 62,43 | 99,96 | 84,05 | 85,54 | 56,4 | (+) 51 |

FONTE: FERNANDES et al. (1996)

A secagem térmica além de ser um processo de desaguamento, constitui também um processo de higienização e estabilização do lodo, onde a utilização de elevadas temperaturas em curtos períodos de tempo resulta na produção de um biossólidos de melhor perfil sanitário e menores restrições para o uso agrícola SANEPAR (1999).

3.2.2.2. Metais Pesados

A expressão "metais pesados", comumente utilizada para designar metais classificados como poluentes, na verdade aplica-se a elementos que apresentam peso específico maior que 5 g.cm^3 ou possuem número atômico maior que 20, englobando metais, semi-metais (Arsênio) e mesmo os não metais como o Selênio e o Flúor (MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000; MALAVOLTA, 1994). Imprópria ou

não, a expressão "metal pesado" tem sido utilizada com frequência para designar elementos químicos que poluentes do ar, da água, do solo, de alimentos e de forragens, provocando danos ao seres vivos.

Em muitos países, e mesmo em alguns estados do Brasil, a presença de metais pesados é um dos entraves mais fortes à reciclagem agrícola do lodo de esgoto (ANDREOLI e PEGORINI, 2000). Ao contrário dos patógenos e dos compostos orgânicos constituintes usuais do lodo, os metais pesados podem acumular no solo por tempo indefinido (BERTON, 2000). Segundo KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992), a concentração de metais pesados no solo tem aumentado em escala global com o acréscimo da atividade agrícola e industrial. Na agricultura destaca-se a aplicação de fertilizantes, pesticidas e do lodo de esgoto. No Paraná, as principais fontes de contaminação de solos agrícolas por metais pesados são esterco, fertilizantes fosfatados, calcário e fungicida originados da própria atividade agrícola, poeira, fumaça e lodo de esgoto em áreas próximas a indústrias e grandes centros urbanos (MIYAZAWA et al., 1999).

Os elementos mais frequentemente encontrados no lodo são: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Fe, Co, Mn, Mo, Hg, Se e Zn (BERTON, 2000; SILVA et al, 2001; MIYAZAWA et al., 1999). Destes, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn satisfazem os critérios de essencialidade para as plantas, o Co é importante para as bactérias fixadoras de nitrogênio e para os animais são importantes: Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (BERTON, 2000). Destes elementos, o Cd é o contaminante mais rigidamente limitado em legislações internacionais, em função dos limites de toxicidade do elemento serem mais restritos para animais do que para as plantas (BONNET, 1995).

Segundo DEUS (1992), 80% dos elementos potencialmente tóxicos presentes no esgoto são removidos com o tratamento secundário (envolvendo processos biológicos aeróbios ou anaeróbios), e o tratamento terciário pode remover os 20% restantes.

Devido às poucas certezas sobre o comportamento destes elementos no meio edáfico, os níveis que podem ser seguramente adicionados aos solos devem ser os mais

conservadores possíveis, particularmente sob condições de clima tropical, caracterizado pela alta velocidade de degradação de materiais orgânicos e por não se ter disponíveis estudos suficientes sobre o comportamento dos metais aplicados através de resíduos (MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000). Biossólidos contendo elevadas concentrações de metais pesados não podem ser destinados ao uso agrícola (FERREIRA et al., 1999).

O nível de contaminação do lodo com metais pesados é reflexo das características do esgoto e é influenciado pelo sistema de tratamento adotado (MCCALLA, PETERSON e LUE - HING, 1977), desta forma estes elementos estão geralmente associados a alimentação das redes de coleta com efluentes de atividades industriais. A atividade econômica da região e o processo industrial utilizado também influem na contaminação do lodo (MIYAZAWA et al., 1999).

No Estado do Paraná, a presença destes elementos no resíduo normalmente é baixa em função da política de restrição à descarga de efluentes industriais brutos na rede de coleta de esgoto adotada pelo IAP e pelos parâmetros bastante restritivos da SANEPAR para o recebimento de esgoto industrial em rede coletora (ANDREOLI et al., 1997). Segundo BONNET (1995), análises físico-químicas apontam teores de metais pesados inferiores a algumas das mais rígidas normatizações internacionais, demonstrando uma condição favorável à utilização agrícola do material na agricultura.

A tabela 10 apresenta a concentração de metais em diferentes amostragens de lodo de esgoto em ETEs do Paraná, a concentração em diferentes dejetos de origem animal produzidos no estado e os parâmetros normativos adotados pela SANEPAR e pelo IAP e pela EPA (CFR part 503) para controle da contaminação de lotes de lodo.

TABELA 10. TEORES DE METAIS PESADOS EM ESTERSOS ANIMAIS E LODOS NO PARANÁ

| Material | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Hg | Referência |
|-------------------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-----------------------|
| Lodo Anaeróbio | 1,23 | 51,1 | 116,0 | 16,2 | 66,8 | 340,0 | | MIYAZAWA, 1998 |
| Lodo Aeróbio | 3,35 | 76,8 | 478,0 | 35,5 | 217,0 | 1870,0 | | MIYAZAWA, 1998 |
| Lodo Aeróbio | - | 178,0 | 439,0 | 73,0 | 123,0 | 824,0 | 1,00 | SANEPAR (1997) |
| Lodo Anaeróbio | - | 58,0 | 89,0 | 40,0 | 64,0 | 465,0 | 0,50 | SANEPAR (1997) |
| Lodo Aeróbio | <2,50 | 125,0 | 401,0 | 81,0 | 268,0 | 1340,0 | | MIYAZAWA et al (1996) |
| Lodo Aeróbio | 4,50 | 86,3 | 157,5 | 85,3 | 74,3 | 564,0 | 1,77 | BONNET, 1995 |
| Esterco Bovino | 0,11 | 27,5 | 90,2 | 3,5 | 11,1 | 220,0 | | MIYAZAWA, 1998 |
| Esterco de Suínos | 0,58 | 19,3 | 230,0 | 4,0 | 19,6 | 1670,0 | | MIYAZAWA, 1998 |
| Esterco de Aves | 0,33 | 15,9 | 72,8 | 2,6 | 5,6 | 151,0 | | MIYAZAWA, 1998 |
| I.N. IAP | 20,00 | 1000,0 | 1000,0 | 300,0 | 750,0 | 2500,0 | 16,00 | FERNANDES et al. 1999 |
| CFR part 503 | 85 | 3000,0 | 4300,0 | 420,0 | 840,0 | 7500,0 | 57,00 | EPA (1997) |

Na Europa, os níveis de contaminação são muito variáveis com teores de Cd entre 1 e 3.410 ppm, Pb de 29 a 3.600 ppm, Hg de 0,1 a 55 ppm, Ni entre 6 e 5.300 ppm, Zinco de 91 a 49.000, Cu de 50 a 8.000 ppm e Cr entre 8 a 40.600 ppm (SILVA et al. 2001).

Nos EUA, os teores destes elementos no lodo variam amplamente, encontrando-se teores médios em torno de 6,94 ppm de Cd, 134,4 ppm de Pb, 5,2 ppm de Hg, 42,7 ppm de Ni, 1.202 ppm de Zn, 741 ppm de Cu, 119 ppm de Cr, 9,9 ppm de Ar, 5,2 ppm de Se e 9,2 de Mo. A EPA (1993) estima que apenas 2% (130) entre as 6.300 ETEs avaliadas apresentem teor de algum elemento superior aos estabelecidos pela CFR Part 503.

MIYAZAWA et al. (1999) em revisão sobre teores de metais pesados em alguns materiais encontrou trabalhos apontando variação de concentração de metais em lodo de esgoto dos EUA da ordem de 2 a 1.100 ppm para Cd, 84 a 10.400 ppm para Cu, de 12 a 2.800 ppm para Ni, de 8 00 a 26.000 ppm para Pb, e de 72 a 16.400 ppm para Zn.

ALLOWAY (1993) encontrou variações da ordem de 1 a 3.410 ppm para Cd, 8 a 40.600 ppm para Cr, 50 a 8.00 ppm para Cu, 01,1 a 55 ppm para Hg, 6 a 5.300 ppm para Ni, 29 a 3.600 ppm para Pb e 91 a 49.000 ppm para Zn.

BERTON (2000) argumenta que outros materiais utilizados na agricultura, tanto orgânicos quanto inorgânicos, também possuem metais pesados em sua composição, destacando os dejetos de animais monogástricos, principalmente os suínos. ALLOWAY (1993) destaca os níveis de contaminação presentes em

fertilizantes fosfatados, nitrogenados e calcários (tabela 11).

TABELA 11 - TEORES DE METAIS PESADOS EM AMOSTRAS DE FERTILIZANTES FOSFATADOS E CALCÁRIOS (VALORES EM MG.KG⁻¹).

| Material | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Hg | Zn |
|--------------------------|------------|----------|----------|---------|---------|-----------|-------------|-----------|
| Fertilizante fosfatado | 0,1 - 170 | 1 - 12 | 66 - 245 | 1 - 300 | 7 - 38 | 7 - 225 | 0,01 - 1,2 | 50 - 1450 |
| Fertilizante Nitrogenado | 0,05 - 8,5 | 5,4 - 12 | 3,2 - 19 | | 7 - 34 | 2 - 27 | 0,3 - 2,9 | 1 - 42 |
| Calcário | 0,04 - 0,1 | 0,4 - 3 | 10 - 15 | 2 - 125 | 10 - 20 | 20 - 1250 | 0,01 - 0,36 | 10 - 450 |

FONTE: ALLOWAY (1993)

Em pequenas quantidades alguns destes elementos são benéficos e indispensáveis para o desenvolvimento vegetal e/ou animal, no entanto em quantidades superiores podem ser tóxicas (MALAVOLTA, 1994; EPA, 1997; ARDERN, 1976).

Tendo em vista a deficiência dos solos brasileiros em micronutrientes, MIYAZAWA et al. (1999) argumenta ser interessante a utilização de materiais ricos nestes nutrientes como uma forma segura e de liberação gradativa no solo. Há necessidade, no entanto, de controle de elementos indesejáveis e que não possuem interesse agrônômico, como Pb, Hg e Cd. Destaca ainda o perigo da utilização de escórias industriais e outros materiais tóxicos no solo, pois estes, segundo o autor, são fontes perigosas de metais para o solo.

Nos EUA e na Austrália os limites para os poluentes no biossólido são fixados sob conceito de administrar um risco ambiental aceitável. A EPA estabeleceu dois critérios para o controle do conteúdo de metais nos lodos para disposição agrícola: “*ceilling concentration*” (em concentrações adequadas) e “*excepcional quality*” (qualidade excelente). Os lodos cujo conteúdo de qualquer elemento monitorado exceder o “*ceilling concentration*” são considerados muito poluídos para qualquer forma de disposição benéfica. Aqueles lodos cujo conteúdo de metais esteja entre os dois limites poderão ser reciclado, no entanto exige monitoramentos anteriores e posteriores à aplicação. Aqueles materiais que atendem os critérios mais restritivos para metais e conteúdo de patógenos (Classe A), podem ser comercializados ou distribuídos sem a necessidade de qualquer monitoramento ou controle, exceto avaliação da taxa de aplicação máxima de poluentes, comum para qualquer forma de

fertilizante utilizada nos EUA (EPA, 1997).

Na Europa, os países da CEE estabeleceram regras básicas unificadas, e regulamentações específicas particularizadas no âmbito de cada país, com vários níveis de exigência e especificidade. Assim, os países têm permissão para estabelecer critérios mais restritivos, e muitos o fizeram, tanto para a concentração de metais no lodo quanto no solo (BONNET, 1995).

3.2.2.3. Poluentes Orgânicos

A USEPA (1979) identificou uma lista com 114 poluentes orgânicos que entram no sistema de esgoto doméstico e industrial e se acumulam no lodo, sendo potencialmente perigosos para humanos e animais. Ao contrário dos materiais orgânicos naturais presentes no lodo bruto, pouco dos sintéticos orgânicos resistem à biodegradação e persistem no lodo e águas residuárias (FERREIRA et al., 1999).

De acordo com SILVA et al. (2001), até recentemente pouca importância era dada à presença destes elementos em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. Segundo o autor os principais grupos de produtos encontrados no lodo são: solventes orgânicos, pesticidas e bifenilos policlorados (PCBs). USEPA (1979) inclui entre os compostos considerados os hidrocarbonetos aromáticos, fenólicos, pesticidas, polibromenatos, bifenil (PBBs), policlorinato bifenil (PCBs) e outros materiais persistentes altamente tóxicos.

São potencialmente perigosos para humanos e animais pelas seguintes razões: a) apresentam baixa solubilidade na água e não se movem facilmente no solo; b) são relativamente estáveis no solo, porque são resistentes à degradação microbiana; c) são solúveis e se acumulam no tecido; d) são transmitidos através da cadeia alimentar (solo - planta - animal - homem); e) são altamente tóxicos para glândulas mamárias; muitos são carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos. (USEPA, 1979)

ANDREOLI et al. (1994) apontam a ocorrência de herbicidas e outros pesticidas no lodo de esgotos.

Em lodos canadenses os compostos mais comuns são hidrocarbonetos polinucleares aromáticos e organoclorados (EPS, 1984), mas dificilmente se apresentam altas concentrações destes componentes e os efeitos de sua presença em lodos reciclados na agricultura não se aproximam daqueles de uma aplicação direta. O impacto da presença destes produtos no lodo de esgotos de uso agrícola é pouco conhecido.

Com exceção do Policlorinato Bifenil (PCBs) muito pouco se sabe sobre a concentração e destino dos tóxicos orgânicos no esgoto e na aplicação agrícola do lodo. Eles são absorvidos diretamente pelo intestino animal, e apresentaram ação mutagênica, teratogênica e carcinogênica (HEALTH and WELFARE CANADA, 1980)

A norma da EPA não exige o controle da presença destes elementos no lodo especificamente, no entanto, existindo indícios de risco de toxicidade do material (recebimento de esgoto industrial com estes compostos), recomenda a caracterização de toxicidade do lodo através de teste de lixiviado, que incluem alguns pesticidas, os herbicidas 2,4 d e 2,4,5 T, alguns compostos voláteis e outros semi-voláteis. (USEPA, 1997)

Na Europa HALL (1998) destaca que alguns países estabeleceram limites para PCB (França e Alemanha) e outros compostos orgânicos perigosos (Alemanha e Suíça). Outros países, como a Bélgica, tendem a inserir nas suas legislações.

3.3. EFEITOS DO USO DO LODO NO SOLO E NA PLANTA

A matéria orgânica está relacionada com diversas características que definem o potencial produtivo do solo, além de ser fonte de macro e micronutrientes (SOPPER, 1993).

A matéria orgânica gerada no processo de depuração das águas residuais é um insumo que pode influenciar positivamente as propriedades físicas do solo. A decomposição do lodo libera para a solução do solo nutrientes e gera agentes

complexantes que facilitam a solubilização de outros já existentes no solo. A melhoria dos fatores físicos e químicos levam a uma imediata reação e incremento da atividade biológica do solo (ANDREOLI et al., 1994a).

A matéria orgânica aplicada através de lodos de esgoto promove melhor agregação das partículas do solo, melhorando sua estrutura, o desenvolvimento radicular e a infiltração de água. Atua, ainda, incentivando um crescimento vegetal mais rápido e denso, que resulta na formação de cobertura mais rapidamente sobre o solo, reduzindo a degradação das partículas pelo impacto das gotas de chuva e o escoamento superficial. (ANDREOLI et al., 2001).

3.3.1. Propriedades físicas do solo

Segundo MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000 determinados resíduos podem afetar propriedades físicas importantes do solo, como granulometria, porosidade, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica. Os responsáveis por estas alterações seriam a carga orgânica e a presença eventual de compostos de cálcio e/ou magnésio. Entretanto, segundo os autores, esses efeitos só serão observados se a quantidade e a qualidade da matéria orgânica aplicada ao solo resultarem em formação de material orgânico persistente.

MELO e MARQUES (2000) citam como efeitos positivos da aplicação de biossólidos ao solo, a melhoria do estado de agregação das partículas, redução da densidade, aumento da aeração e retenção de água e cátions, além do efeito fertilizante com reflexos na produtividade e aumento da população microbiana. Apresenta ainda como vantagem a liberação gradativa dos nutrientes no solo, por meio de processos oxidativos, aumentando a eficiência da adubação e reduzindo os riscos de contaminação ambiental.

Os lodos de esgoto trazem grandes proporções de partículas aglomerantes que tendem a formar quelatos com cátions metálicos, óxidos de Fe e Al e CaCO_3 . A estabilidade destes elementos aumenta com a agregação de novos elementos e de

partículas finas do solo, minerais e sais. Como resultado destes processos os solos verifica-se a maior porosidade e redução de densidade, com reflexos sobre a infiltração de água e penetração de raízes (SANTOS, 1979).

BOTTEGA e NASCIMENTO (1999) relatam aumento na penetração de raízes de milho em decorrência do aumento da porosidade em solos tratados com lodo de esgoto na Região Metropolitana de Curitiba.

Por outro lado, FIEST, ANDREOLI e MACHADO (1998) não encontraram diferenças estatísticas para diversos parâmetros físicos do solo tais como a densidade de partículas, a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total e a retenção de água, utilizando lodo de esgoto nas dosagens de 3,2, 6,4 e 9,6 t M.S./ha. No entanto, contrariando resultados diversos autores, a densidade do solo mostrou aumento tanto com a aplicação de lodo como de fertilizantes minerais.

Segundo LUE-HING et al. (1992), a utilização do lodo de esgoto pode afetar positiva ou negativamente as propriedades físicas do solo. O aumento da capacidade de campo e retenção de água ocorreu tanto em solos de textura fina como em solos de textura grossa, no entanto mais pronunciada nos de textura grossa.

Segundo SOPPER (1993) a matéria orgânica está relacionada com diversas características do solo que definem seu potencial produtivo e sua erodibilidade, tais como: tamanho e estabilidade dos agregados, capacidade de armazenamento e infiltração de água no solo, densidade do solo, lixiviação, biomassa e atividade microbiana, mobilização de substâncias tóxicas, solubilização de nutrientes das partículas dos solos, além de ser fonte de nutrientes para os vegetais

3.3.2. Propriedades químicas

Os efeitos do lodo de esgoto sobre as propriedades químicas do solo vêm sendo avaliados em diversos trabalhos, envolvendo diferentes dosagens, tipos de material, solos e culturas. Os diferentes autores verificaram aumento no pH, maiores teores de P extraível, de Ca, Mg e K trocáveis, aumento da matéria orgânica, da CTC

pH 7 e da Saturação por Bases (DESCHAMPS e FAVARETTO, 1998).

A adição de material orgânico ao solo em condições aeróbias é responsável pela elevação do pH, resultante da oxidação do carbono orgânico que perde elétrons recebidos pelo oxigênio (O_2) ou pelos íons H^+ presentes na solução dos solos ácidos (MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000). Nos lodos submetidos a processos de estabilização alcalina com adição de cal, o material final torna-se enriquecido em Ca e Mg e tem seu pH elevado significativamente, alterando mais rapidamente o pH do solo (FERNANDES et al., 1996). ANDREOLI et al. (2001) destaca que quando a higienização do bio-sólido é realizado através da adição de cal, o material pode ser utilizado como corretivo do solo: aumentando o pH, reduzindo os níveis de Al e Mn tóxicos, fornecendo Ca e Mg, melhorando a absorção de nutrientes e estimulando a atividade microbiana. Resultados semelhantes são apontados por LUCCHESI (1997) com *N-Viro*, processo de tratamento do lodo associado à adição de reagentes alcalinos.

HARDING, CLAPP e LARSON (1985) avaliando a disponibilidade e extração de N em um solo areno - siltoso após 5 anos da adição de lodo, observaram aumento dos níveis de pH, Carbono e Nitrogênio. O solo testemunha após o experimento apresentou pH 5,0 enquanto nos tratamentos com diferentes tipos de lodo variavam entre 5,7 e 6,3.

A adição do lodo pode, por outro lado, ser responsável pela redução do pH do solo, como verificado por BURNHAM, et al. (1992) com *N-Viro soil* aplicado a um solo calcário.

Os resultados de DA ROS et al.(1993), avaliando os efeitos da aplicação de 20, 40, 80 e 160 $m^3 \cdot ha^{-1}$ de lodo (92% de umidade) de esgoto em solo Podzólico vermelho-amarelo corrigido nas culturas de milho, aveia, ervilhaca, apontam tendência de redução do pH de 4,9 para 4,8 e 4,7, com doses de 80 e 160 t / ha de lodo, respectivamente.

Neste experimento, DA ROS et al. (1993) não observaram alteração das características químicas do solo. Apenas o fósforo apresentou resposta ao lodo e as diferentes dosagens de forma linear. A adição do lodo, no entanto, proporcionou maior

rendimento de matéria seca e na absorção de N, P_2O_5 e de K_2O pelo milho, aumento no rendimento de matéria seca da associação aveia e ervilhaca e de grãos de aveia e aumento do nível de N - total e disponível no solo.

WISNIEWSKI et al., 1996, observaram tendência de aumento de pH mesmo sobre resíduo composto por estéreis de mineração de calcário (mistura de solo com fragmento de rocha calcária e filitos) com pH $CaCl_2$ de 6,7, tratados com lodo caledão (pH 12) nas dosagens de 40, 80 e 120 t/ha (77% de umidade). Verificou ainda aumento nos teores de P, Mg, CTC pH7,0 e Saturação de Bases

MARCHIORI JUNIOR et al. 1998, encontrou incremento do teor de matéria orgânica, pH, fósforo (resina), cálcio e magnésio e redução da acidez potencial (H+Al) proporcional às doses de lodo aplicadas (40, 80 e 160 $Mg.ha^{-1} = t/ha$) a um latossolo vermelho - escuro textura média cultivado com a cultura da cana-de-açúcar. Os autores encontraram efeitos ainda mais expressivos nas entrelinhas da cultura, efeito atribuído pelo autor à atividade biológica mais intensa nas linhas e provavelmente mais explorada pelo sistema radicular da cana. Os teores de K não foram afetados pelos diferentes tratamentos.

Com relação ao K, normalmente, não se observa efeito do lodo sobre o conteúdo deste elemento no solo em função de seus baixos teores no lodo, recomendando-se a sua complementação quando se utiliza o lodo como fonte de nutrientes (WISNIEWSKI et al, 1996; FIEST et al, 1999; DA ROS et al, 1993; FAVARETTO, DESCHAMPS e MOTTA et al. 1997; RAIJ, 1998; FAVARETTO e DESCHAMPS, 1998, LUCHESI, 1998).

Em experimento conduzido por FAVARETTO, DESCHAMPS e MOTTA et al. 1997, observou-se tendência de redução dos teores de carbono em solo cultivado com milho e adubado com lodo (32, 64 e 96 t úmidas/ha) à medida que as dosagens eram maiores, evidenciando degradação da matéria orgânica natural do solo, contrariando os resultados de MARCHIORI JUNIOR et al. 1998.

MELO et al. (1994), também observaram aumento significativo do C orgânico e da CTC em experimento com diferentes doses de lodo em latossolo

cultivado com cana-de-açúcar. Enquanto WISNIEWSKI et al., 1996, não encontrou alteração dos teores de C em área degradada de mineração de calcário tratada com até 120 t / ha de lodo de esgoto alcalinizado.

Lodos de esgotos são formados caracteristicamente por matéria orgânica parcialmente mineralizada e contêm altos teores de carbono orgânico - de 40 a 80% - boa parte dos quais sob forma de constituintes húmicos, que se decompõem lentamente e propiciam condições ótimas de desenvolvimento da biomassa edáfica, numa propriedade que os torna coadjuvantes em processos de recomposição do húmus no solo (MGDOFF, 1999)

ANDREOLI (1999) observou efeito significativo de diferentes doses de lodo sobre a CTC de um latossolo vermelho-escuro textura média, após 3 anos de aplicações sucessivas de lodo nas dosagens de lodo caleado de 0, 6, 12 e 18 t/ha (base seca) com complementação mineral obtendo resultados positivos. Na maior dosagem, os teores de fósforo chegaram a 58,67 mg/dm³ após o terceiro ano. No mesmo experimento, o autor verificou tendência de acúmulo de carbono, embora não significativa.

Em experimento semelhante, conduzido pelo autor sobre solo argiloso (LATOSSOLO ROXO - Londrina) a seqüência de aplicações aumentou e acumulou no solo cálcio, magnésio, fósforo, CTC e V%. Incremento dos teores de P, Ca, Mg e V% significativos também foram encontrados por FAVARETTO, DESCHAMPS e MOTTA et al. 1997 em cambissolo tratado com lodo de esgoto caleado (50%M.S) na região de Curitiba. Neste experimento, o biossólido mostrou tendência de melhoria sobre a acidez (pH CaCl₂), carbono e CTC pH 7,0. Os teores de K trocável também mostraram tendência de incremento, embora não significativo e não resultando em alteração da classe de fertilidade do solo.

SIMONETE, KIEHL e PLESE (1999) estudando o efeito de seis doses de lodo de esgoto (0, 10, 20,30, 40, 50 t/ha¹) sobre as propriedades químicas de um podzólico vermelho-amarelo no município de Piracicaba, verificaram aumento nos teores de matéria orgânica, V%, CTC e nutrientes. Os teores de P chegaram a dobrar

nas maiores doses de LE em relação ao tratamento testemunha. Os autores concluem que o LE testado é fonte principalmente de P, S, Ca, Zn e Cu, tornando-se importante e desejável sua utilização na agricultura. O teor de Zn passou de médio para alto já com a primeira dosagem e o teor de K também aumentou, porém, não sofreu mudança de classe.

FIEST et al. (1998) avaliaram o efeito das doses 3,2 ; 6,4 e 9,6 toneladas de lodo base seca por hectare, adubação mineral e testemunha em cambissolo álico textura argilosa, verificando redução estatisticamente significativa da acidez potencial e ativa do solo, e aumento nos teores de Ca, Mg , V%, C e CTC pH 7,0. Também se verificou tendência de aumento dos teores de fósforo.

A biodisponibilidade do P do lodo de esgoto é alta, variando de 40 a 80% do P total. Desta forma pode ocorrer uma elevação no teor de P onde o lodo é utilizado como fonte de N, no entanto a maioria do P, principalmente em solos tropicais, é transformada em formas pouco solúveis, constituindo-se em reservas que poderão ter grande importância no futuro (WEBBER e SHAMESS, 1984).

RAIJ (1998) relata que o aumento dos teores de P podem ser facilmente acompanhados com as aplicações de lodo ao solo, no entanto, recomenda a utilização de método mais preciso para a avaliação da real biodisponibilidade do elemento, como a extração com resina trocadora de ânions. Resultados de MARQUES (1997), apontam acréscimos proporcionais às doses de lodo utilizadas (40, 80 e 160 t/ha) para P avaliado pelo método resina em latossolo sob cultivo de cana. MARCHIORI JUNIOR et al., 1998 encontraram resultados ainda mais expressivos avaliando as entrelinhas da cultura adubadas apenas com lodo, quando na maior dosagem os teores P no solo chegaram a 170 ppm.

Os solos apresentam grande capacidade de fixar o fósforo, que segundo CLAPP et al. (1986), pode ser reduzida com a adição de matéria orgânica. Esta matéria orgânica libera ácidos orgânicos durante sua decomposição que competem com o P na fixação pelos constituintes minerais do solo. AKRIVOS et al. (1999) trabalhando com lodo caleado a 10% M.S., aplicado nas dosagens de 0, 10, 20 e 30 t

M.S. do biossólido/ha (0,80, 160 e 240 kg de N/ha), para cultivo de algodão em solos alcalinos (pH 8,0) e com baixos teores de matéria orgânica, observaram que, comparado ao fertilizante químico (160-80-0 N/P/K) o lodo foi mais efetivo sobre o aumento dos teores de P solúvel em água no solo. Os autores não verificaram efeito sobre outras propriedades físico-químicas do solo.

Segundo ANDREOLI et al. (2001), o biossólido pode contribuir de duas formas para a otimização do uso de P na agricultura:

a) como fonte de P, apresentando uma liberação lenta e contínua do elemento para as plantas; e

b) auxiliando na disponibilidade do P mineral fixado nos solos: a matéria orgânica ao ser decomposta libera ácidos, que solubilizam parte do P mineral fixado; podem complexar o P da solução do solo, liberando-o mais tarde; e podem, ainda, revestir os componentes do solo que fixam o P mineral.

OLIVEIRA et. al. (1996), estudou a degradação da carga orgânica adicionada aos solos através de lodo de esgoto (0,10, 20 e 40 t M.S./ha), decorrentes alterações no pH e a lixiviação de Nitrogênio. Utilizando dois solos: areia quartzosa e latossolo roxo. Concluíram: a) que a maior parte da carga orgânica adicionada via lodo de esgoto apresentou-se degradada em 63 dias de incubação nos dois solos; b) esta degradação contribuiu para a elevação do pH dos solos, proporcionalmente as doses aplicadas; c) a degradação da carga orgânica promoveu um aumento de formas nitrogenadas potencialmente lixiviáveis. Na areia quartzosa esse fato foi mais evidente, indicando que neste tipo de solo deve haver preocupações quanto à contaminação do lençol freático.

COSTA et al. (2001), avaliou o efeito da adubação da cultura do mamoeiro com lodo não higienizado em solo franco-arenoso do tabuleiro costeiro do Espírito Santo. Os teores de matéria orgânica antes do cultivo foram considerados muito baixos (0,8%), observando aumento nesses teores, levemente superiores aos níveis originais, em avaliação realizada três meses depois a incorporação, 9 meses após, mostraram uma rápida decomposição do material, característico das condições de solo e clima

predominantes na região. Os valores de CTC acompanharam o fenômeno observado com a matéria orgânica, com rápido incremento a níveis 3 vezes superiores aos iniciais (após 3 meses), seguidos de queda, mostrando a importância da matéria orgânica neste solo. Em relação ao pH, os autores verificaram tendência de acidificação com o aumento das dosagens de lodo, resultado atribuído a liberação de ácidos com a decomposição do lodo.

Segundo MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, (2000) quando o material orgânico de resíduos sofre decomposição no solo, o destino dos produtos gerados depende das características das substâncias orgânicas nele presentes. Compostos orgânicos mais simples (açúcar, amido, ácidos orgânicos) sofrem oxidação mais rápida e muitas vezes não chegam a produzir húmus. Substâncias orgânicas mais complexas (celulose, lignina, óleos, etc..) tendem a sofrer oxidação mais lentamente e podem originar material orgânico mais persistente no ambiente edáfico, podendo afetar a CTC do solo de forma duradoura.

BARBOSA (2000) avaliando o efeito residual da aplicação de lodo de esgoto caçado (50% M.S.) durante dois anos nas dosagens de 6, 12 (6 antes da cultura de inverno + 6 antes da de verão), 12, 18, 24 (12 antes da cultura de inverno +12 antes da de verão) e 36 t M.S/ha (18 antes da cultura de inverno e 18 antes da cutlutra de verão) em latossolo roxo previamente corrigido, observou aumento dos teores de C, da CTC e do V% do solo com as maiores dosagens. A adubação parcelada no tratamento de 12 t/ha mostrou-se mais eficiente que a aplicação em uma única dose. O autor também verificou melhorias no pH, nos teores de Ca e Mg e P com o aumento das dosagens de lodo.

Vários trabalhos evidenciam o aumento da disponibilidade de N para as plantas em solos cultivados com lodo. Para DA ROS et al. (1993) o teor de N do solo aumentou com as dosagens de lodo utilizadas. PEVERLY e GATES (1984) encontraram aumento dos teores de NO_3^- , P e K no solo com a utilização de composto de lodo de esgoto (31 t/ha) em comparação a composto de lixo urbano (46 t/ha) e fertilizantes minerais em cultura de milho. DESCHAMPS e FAVARETTO (1997)

encontraram produtividade semelhante de feijão com N aplicado na forma de fertilizante mineral ou lodo de esgoto, demonstrando disponibilidade de N para as plantas.

CLAPP et al. (1994) observaram aumento dos teores de N, C e pH em solos de uma bacia hidrográfica após 16 anos da aplicação de lodo de esgoto, variando de 0,14 para 0,41 ppm, 1,9 para 4,8 ppm e 6,0 para 7,6, respectivamente. Com a redução das taxas de aplicação os níveis de pH e N do solo têm reduzido, mas ainda encontram-se acima dos teores originais.

O lodo de esgoto é uma fonte de nitrogênio com liberação lenta que pode se estender de 3 a 5 anos (GSCHWIND e PIETZ, 1992). A velocidade de mineralização do N orgânico é muito variável em função da temperatura, umidade e atividade microbiana no solo, entre outros fatores. Assim, não se pode definir um valor universal para esta fração de mineralização, podendo esta variar amplamente de local para local e de ano para ano; estimando-se, no entanto, que varia entre 20 e 70% do N orgânico aplicado (ANDREOLI et al., 2001).

3.3.3. Contaminação do solo com Metais Pesados.

Uma das restrições mais frequentes à aplicação de resíduos aos solos, e em especial a aplicação de lodos de esgoto, é a possibilidade de poluição e contaminação dos solos com metais pesados. A caracterização química destes resíduos geralmente revela o risco potencial. Segundo DEUS (1992), 80 % dos elementos potencialmente tóxicos presentes no esgoto são removidos com o tratamento secundário (envolvendo processos biológicos aeróbios ou anaeróbios), e o tratamento terciário pode remover ainda os 20% restantes.

De acordo com ANDREOLI et al. (1994) a concentração destes elementos no lodo é muito maior que a encontrada no solo. Assim, mesmo que estes elementos não se apresentem limitantes a ponto de excluir a possibilidade de emprego nas terras agrícolas, já irão demandar cuidados especiais.

3.3.3.1. Ocorrência natural de metais pesados nos solos

Ao contrário dos poluentes orgânicos sintéticos (criados pelo homem) os metais pesados são componentes naturais do meio ambiente, normalmente presentes em teores muito baixos. Os solos agrícolas, em muitas partes do mundo, são deficientes em um ou mais metais considerados micronutrientes, incluindo elementos essenciais às plantas e animais (Cu, Mn e Zn) ou somente a animais (Co e Se). Em nível mundial, ALLOWAY (1993) considera o Zn o micro-elemento mais problemático neste sentido.

As concentrações dos metais pesados nos solos são naturalmente baixas, ocorrendo, entretanto, grandes variações dependendo de certos fatores: geologia, conteúdo de matéria orgânica, textura, tipo de argila, acidez, uso e manejo aplicados ao solo e contaminações externas, como aerossol de indústria, tráfego, queimadas e fontes externas naturais (BERTON, 2000; KABATA PENDIAS e PENDIAS, 1992; ALLOWAY, 1993). O risco representado pelos metais está associado à sua concentração, que quando é elevada, geralmente é provocada pela atividade antropogênica (SILVA et al. 2001).

Os intervalos dos principais metais pesados em solos da Europa (ALLOWAY, 1993), EUA (HOLMGREN et al., 1993), Mundiais, segundo revisão de literatura apresentada por SOUZA et al., (1996), no Estado de São Paulo em revisão realizada por MELO et al., (1994), no Estado do Paraná (SOUZA et al. , 1996; LUCCHESI, 1997) e o intervalo dos níveis máximos aceitáveis propostos por por KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) e CETESB (2002), são apresentados na tabela 12.

TABELA 12. TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS E ROCHAS

| Solos | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-----------------------------|--------------|--------------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| Mundial ¹ | 0.005 - 2.4 | 18.7 - 285 | 0.3 - 495 | 0.7 - 269 | 0.5 - 135 | 1.5 - 264 |
| EUA ² | <0.01 - 2.0 | | <0.6 - 495 | 0.7 - 269 | <1.0 - 135 | <0.3 - 264 |
| EUROPA ³ | 0.01 - 2.4 | 5 - 1500 | 2 - 250 | 2 - 1000 | 2 - 300 | 10 - 300 |
| SÃO PAULO ⁴ | | | 2 - 240 | 10 - 127 | | 4 - 236 |
| SÃO PAULO ⁵ | | | | 0.5 a 1.4 | 0.6 - 13 | |
| SÃO PAULO ⁶ | <0.5 | 2.2 - 172.5 | 3 - 393 | 1.55 - 73.5 | <5 - 23.5 | 1.5 - 200 |
| PARANÁ ¹ | <2.8 - 3.21 | 4.4 - 145.5 | <10.2 - 466 | <8 - 89 | 13.9 - 94 | <5.4 - 194 |
| PARANÁ ⁷ | <0.01 - 0.01 | 0.51 - 535.8 | 13.03 - 2623.3 | 3.76 - 592.7 | 11.84 - 174.8 | 16.5 a 121.1 |
| PARANÁ ⁸ | <0.01 | | 0.86 - 5.7 | <0.01 - 0.05 | 1.8 - 1.0 | 0.42 - 2.27 |
| N Fitotóxicos ⁹ | 3 - 8 | 75 - 100 | 60 - 125 | 100 | 100 - 400 | 70 - 400 |
| N Fitotóxicos ¹⁰ | 5-30 | | 15-20 | 10-100 | 30-300 | 100-400 |
| ROCHAS ⁴ | 0.017 - 2.6 | 20 - 3000 | | 2 - 3000 | 7 - 20 | 16 - 130 |

¹ SOUZA et al. (1996): - HNO₃, HF, HClO₄

² HOLMGREN et al. (1993) - HNO₃

³ ALLOWAY (1993) - diversos extratores

⁴ MELO et al. (1994) - diversos extratores

⁵ MELO et al. (1994) Teores extraíveis em DTPA (Ni) e H₂SO₄ 0,05N + HCl 0,05N (Pb) - HClO₄

⁶ CETESB (2001) - água régia

⁷ LUCCHESI (1997) - HNO₃

⁸ LUCCHESI (1997) - EDTA

⁹ KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) - Propostas de níveis máximos aceitáveis de metais em solos agrícolas por vários autores (níveis considerados fitotóxicos)

¹⁰ ICME (1997) in CETESB (2002)

Muitas características do solo, tais como o conteúdo original, intensidade do intemperismo, tipo e teor de argila, superfície específica, matéria orgânica e óxidos influem sobre os teores naturais e o risco de contaminação dos solos por metais pesados (SOUZA et al., 1996; MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000).

SOUZA et al. (1996) analisando 10 perfis de solos de regiões fisiográficas distintas do Estado do Paraná realizaram as seguintes correlações:

a) forte influência do material de origem sobre a concentração de metais no solo. Fator confirmado por ANDREOLI (1999) avaliando solos originários de depósitos sedimentares (litoral paranaense), do arenito Caiuá (Paranavaí - Pr) e de rochas eruptivas básicas (Londrina - Pr); e por LUCCHESI (1997), com solos latossolo proveniente do Arenito Caiuá, de migmatitos da RMC e de basalto de Londrina.

b) não observou acúmulo no horizonte B, com exceção para o Cr e tendência para o Mo. MELO et al. (1994) observa que a distribuição do Cr no perfil tem mostrado resultados discrepantes, em alguns casos apresentando-se uniforme, em outras com acúmulo em superfície ou em profundidade. LUCCHESI (1997) encontrou

distribuição semelhante ao longo do perfil nos três solos (arenoso, argiloso e muito argiloso) que avaliou para os teores totais dos elementos Cr, Cu, Pb, Ni, Zn.

c) correlação positiva entre as concentrações de Pb, Cr, Zn e Mo com os teores de argila do solo, resultados semelhantes aos de HOLMGREN et al. (1993), avaliando 3.045 solos de 307 séries de solos dos EUA.

d) influência do grau de intemperismo: os teores de metais em latossolo roxo foram inferiores aos observados em terra roxa, ainda que sejam solos originários da mesma rocha.

e) Não verificou diferença do conteúdo de metais entre as áreas de agricultura e os de mata. MIYAZAWA et al. (1999) comenta aumento acentuado nas concentrações de Cu e Zn na camada superficial em função do cultivo com Uva, e de Cu em solo cultivado com café, atribuídos a utilização de fertilizantes fosfatados e fungicidas.

HOLMGREN et al. (1993) observou teores de Cu consideravelmente superiores nos solos orgânicos da Flórida, Oregon e região dos grandes lagos.

Além das condições naturais, a metodologia de extração é determinante quando se almeja comparar resultados das avaliações de teores de metais pesados, sejam naturais, sejam oriundos de contaminação do solo, encontrando-se grandes discrepâncias entre amostras avaliadas com diferentes extratores. Com relação aos teores totais, convencionalmente se utilizava digestão com ácido fluorídrico (HF) em associação a outros ácidos que resultam em digestão total da amostra, porém a metodologia é muito perigosa. Outros ácidos, HCl, HNO₃, HClO₄ não dissolvem totalmente os silicatos do solo, mas são fortes o suficiente para dissolver os elementos não ligados a estas estruturas, além de não representarem risco tão pronunciado. A nível mundial os extratores simples (HCl, HNO₃) e a mistura de ácidos (HNO₃ + HClO₄, HCl + HNO₃ - água régia) são bastante utilizados.

Nos EUA, a digestão com ácido nítrico (USEPA - 3051) é a mais utilizada. Em São Paulo, os valores orientadores para controle da poluição para solos definidos pela CETESB (2002), foram obtido com digestão realizada com água régia. No Paraná

a Instrução Normativa do IAP (I.N IAP) que orienta e regulamenta a disposição de biossólidos na agricultura determina, tanto para solos como para biossólidos, a extração com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$.

3.3.3.2. Formas dos metais pesados no solo, mobilidade e solubilidade

O comportamento dos metais pesados depende da forma como estes elementos estão presentes nos solos, sua mobilidade, solubilidade e disponibilidade para as plantas (MELO et al., 1994; MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000; BERTON, 2000; MIAZAWA et al., 1999). O conhecimento atual relativo à especiação de metais no solo permite o fracionamento nas seguintes formas:

- I. Estrutura cristalina de minerais e óxidos primários e secundários: constituintes da rocha de origem e que o processo de intemperização ainda não conseguiu alterar. É consenso que a presença destes elementos nesta forma nos solo refletem os teores do material de origem, e portanto dependem da quebra destas estruturas para se tornarem passíveis de absorção pelas plantas.
- II. Associado a óxidos de Fe, Al e Mn: A ligação pode ser muito forte, de tal forma que o mesmo permaneça fixado, imóvel e indisponível para as plantas.
- III. Precipitado na forma de sais insolúveis e carbonatos: Como por exemplo o Cd, que pode se precipitar na forma de carbonato e bicarbonato de cádmio e em ambientes muito redutores na forma de sulfeto de cádmio, muito insolúvel.

MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA (2000) argumentam que as formas associadas a sulfetos são características de solos redutores pouco comuns nas condições verificadas para nossos solos tropicais. Podem ser significativos, no entanto, para condições de solos alagados, como no cultivo de arroz irrigado (MELO et al., 1997).

As quantidades de metais naturalmente precipitadas na forma de carbonato, são dependentes do pH dos solos e pode ser considerada pouco significativa nas condições dos solos tropicais ácidos (MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000). No

entanto, podem ser relevantes em resíduos submetidos a processos de estabilização alcalina, entre eles os processos de caleação (preconizados no Paraná) e o N-Viro Soil, e nos solos com pH superior a 5,0 para HCO_3^- e 8,0 para os íons CO_3^{2-} .

- IV. Adsorvido em sítios de troca específicos: adsorção química onde ocorre uma forte ligação entre o cátion e a superfície, requer a destruição da matriz deste substrato para ser rompida. (KABATA PENDIA e PENDIAS, 1992)
- V. Complexado com a matéria orgânica: ligados a compostos orgânicos móveis e pouco móveis.

A formação de complexos metálicos diminui a disponibilidade e toxidez de metais pesados para as plantas e reduz sua mobilidade (GRANATO e PIETZ, 1992). Em função desta propriedade tem-se recomendado a adição de matéria orgânica humificada em solos poluídos com metais pesados como maneira de minimizar sua toxidez para as plantas (MLAZWA et al., 1999). Em termos de capacidade de ligação e transporte, as substâncias fúlvicas são mais importantes na complexação, enquanto as húmicas, devido a seu tamanho molecular têm maior capacidade de imobilização STEVENSON (1982).

Complexos organo-metálicos e quelatos solúveis retém uma fração dos metais em formas solúveis em água (EPS, 1984). A associação a ligantes orgânicos de baixo peso molecular, como ácidos orgânicos e aminoácidos solúveis em água, formando complexos de carga eletrostática nula ou negativa, reduz a disponibilidade para as plantas, mas pode aumentar os riscos de lixiviação destes elementos e contaminação das águas subterrâneas (MIYAZAWA et al., 1999).

MIYAZAWA et al. (1996) atribuem a formação de complexos orgânicos a pequena lixiviação apenas de Zn observada em colunas de solo com aplicação de lodo em superfície após um ano de precipitação, enquanto os outros elementos (Cu, Cr, Co, Ni e Pb) não lixiviam. Quando foram encontrados aumentos consideráveis nos teores de Cu e Zn até 0,50 m de profundidade em terra roxa pelas aplicações sucessiva de fungicidas cúpricos e com zinco (metais na forma mineral) por muitos anos.

- VI. Parcialmente imobilizado na estrutura de seres vivos: disponibilizados apenas

com a morte e mineralização dos compostos constituintes destes organismos.

- VII. Na forma de óxidos hidratados (hidróxidos): precipitados dependentes do pH, e que podem ser solubilizados com a acidificação dos solos.

A ordem de mobilidade dos cátions presentes na solução de solos sob condições de oxidação decresce com a redução do pH na seguinte escala (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992): $Mg^{+2} = Ca^{+2} > Ag^{+} > Hg^{+2} > Mn^{+2} > Cd^{+2} > Ni^{+2} = Co^{+2} = Pb^{+2} > Be^{+2} > Zn^{+2} = Cu^{+2} > Cr^{+3} > Al^{+3} > Bi^{+3} > Sn^{+4} > Fe^{+3} > Zr^{+4} > Sb^{+3}$

- VIII. Adsorvido aos colóides minerais e orgânicos do solo (CTC): constituem a fração trocável (extraída por solução extratora) e disponível para as plantas. Ocorre através de ligações eletrostáticas entre os Cátions e as superfícies negativas dos colóides do solo.

- IX. Solúvel na solução do solo: Na forma iônica, estes elementos estão em equilíbrio com aqueles adsorvidos aos colóides e são considerados disponíveis para a nutrição das plantas e lixiviação. Quando complexados pela fração solúvel da matéria orgânica, não estão disponíveis para as plantas, no entanto são passíveis de lixiviação.

De todos estes componentes, aqueles associados aos óxidos, hidróxidos e matéria orgânica são considerados os mais importantes pela adsorção e fixação destes elementos no solo (KABATA - PENDIAS e PENDIAS, 1992). A tabela 13 apresenta a importância destes componentes para os metais considerados mais importantes como poluente.

TABELA 13. CAPACIDADE DE FIXAÇÃO DOS PRINCIPAIS METAIS POR COMPONENTES DO SOLO E pH PARA PRECIPITAÇÃO DOS HIDRÓXIDOS DOS ELEMENTOS.

| Metal | Matéria Orgânica | Argila | Óxidos (sesq) | Precipitação como Óxidos Hidratados |
|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|--|
| Cd | Moderado | Relativamente fracos | Relativamente forte | 8,0 - 9,5 |
| Cu | Muito forte | Fraco | Relativamente forte | 5,4 - 6,9 |
| Cr | Muito forte | Fraco | Muito forte | 4,6 - 5,6 |
| Pb | Muito forte | Fraco | Muito forte | 7,2 - 8,7 |
| Ni | Moderado | Relativamente fraco | Relativamente forte | 6,7 - 8,2 |
| Hg | Muito forte | Fraco | Muito forte | |
| Zn | Fraco | Fraco | Relativamente forte | 5,2 - 8,3 |

FONTE: KABATA - PENDIAS e PENDIAS (1992)

Das frações descritas acima, as formas solúvel e trocável (adsorvidas na CTC) caracterizam as espécies móveis destes elementos nos solos, as demais formas caracterizam frações imobilizadas de maneira mais forte (estrutura cristalina) ou mais branda (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992). A solubilidade dos metais pesados adicionados ao solo decresce com o tempo, indicando a passagem de formas químicas mais lábeis (trocável e carbonato) para frações de menor mobilidade e/ou biodisponibilidade (óxidos de Fe, Mn, orgânica e residual) – (EPS, 1984).

O equilíbrio entre estas formas depende de diversas características do solo que se interrelacionam dificultando a determinação direta da espécie química; por esta razão, os metais pesados do solo são separados em grupos conforme a sua solubilidade: trocável, carbonato, orgânico, residual (MIYAZAWA et al., 1999).

A forma predominante dos metais (Cd, Cr, Ni, Pb e Zn) em latossolos adubados com grandes doses de matéria orgânica em geral é de carbonatos, com exceção do Cr, onde as formas orgânicas e carbonatos foram semelhantes (KAMOGAWA e MIYAZAWA, 1996).

Através do fracionamento de metais em solo com uso de lodo de esgoto, TSADILAS et al. (1995) verificaram que não houve alteração das espécies de Cd e Zn, contudo observaram um aumento das formas orgânicas e carbonato de Cr, Cu, Ni e Pb. Com aplicações de dosagens de 100 t/ha, MIYAZAWA et al. (1996a) não verificaram alteração dos teores de Co, Cd, Cr e Ni em latossolo roxo tratado com lodo de esgoto urbano de quatro origens (Curitiba - aeróbio e anaeróbio, Londrina - aeróbio, anaeróbio) na proporção de 5% (m/m) e cultivados com feijão. Entretanto, observaram aumento das formas orgânica e trocável de Cu e incremento do Zn na forma carbonato e trocável.

HENNEBERG (2000) encontrou aumento dos teores trocáveis de Zn em latossolo vermelho escuro e terra roxa estruturada adubados com lodo industrial (251 ppm de Zn). Quando utilizou lodo urbano (28,8 ppm de Zn) não observou variação. Efeito semelhante foi verificado nas frações carbonato em terra roxa e óxido na terra roxa e no latossolo. Os teores de óxido com lodo urbano também foram

significativamente maiores nos dois solos. A fração orgânica mostrou tendência de aumento na Terra Roxa. Para o elemento cobre, o autor não encontrou variação nas formas trocável e carbonato, pequenas diferenças na forma de óxidos, no entanto modificações significativas na forma orgânica, mostrando a alta afinidade do elemento com a fração orgânica dos solos. Para o Ni, o lodo industrial aumentou significativamente os teores trocáveis, carbonato, óxido e orgânicos, enquanto o lodo urbano não modificou qualquer das frações.

BORGE e COUTINHO (2001) verificaram que o aumento do pH provocou a redistribuição dos metais em solos neossolo e latossolo vermelho tratados com lodo de esgoto da forma trocável para as frações óxidos e orgânica, reduzindo sua disponibilidade.

3.3.3.3. Fatores associados a disponibilidade dos metais pesados para as plantas

Vários fatores, atuando sobre as diversas formas em que os metais pesados podem se apresentar no solo, governam a disponibilidade destes elementos para as plantas. A quantidade de metal disponível para as plantas em um solo é apenas uma pequena fração do teor total, e depende principalmente do pH, CTC, quantidade e qualidade de matéria orgânica e mineralogia (quantidade e tipo de argilas) - KABATA - PENDIAS e PENDIAS (1992); MIYZAWA et al. (1999); MATIAZO-PREZOTTO e GLÓRIA (2000) ; MELO et al.,(1997); BERTON (2000); GRANATO e PIETZ (1992).

A tabela 14 resume a importância destes fatores sobre a disponibilização dos metais pesados.

TABELA 14. FATORES ASSOCIADOS A DISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS EM SOLOS

| | Forma do metal presente no solo | Fixação | Fatores associados |
|------|---|--|--|
| I | Associado a óxidos de Fe, Al e Mn | FORTE - DIFÍCIL REVERSÃO | Teor de Óx. no solo |
| II | Precipitado na forma de sais insolúveis e carbonatos | FORTE - FÁCIL REVERSÃO | pH, condições de óxido -redução do solo |
| III | Adsorvido em sítios de troca específicos | FORTE - DIFÍCIL REVERSÃO | Afinidade do metal com os colóides do solo |
| IV | Complexado com a matéria orgânica | VARIÁVEL - REVERSÍVEL | Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo |
| V | Parcialmente imobilizado na estrutura de seres vivos | FRACO - REVERSÍVEL | Biologia do solo |
| VI | Na forma de óxidos hidratados (hidróxidos) | DEPENDENTE DO pH - FACILMENTE REVERSÍVEL | pH do solo |
| VII | Adsorvido aos colóides minerais e orgânicos do solo (CTC) | DISPONÍVEL | Fatores que determinam a CTC do solo: Teor e tipo de argilas, teor de matéria orgânica, pH |
| VIII | Solúvel na solução do solo | Prontamente disponíveis | |

Fonte: KABATA - PENDIAS e PENDIAS (1992); MIYZAWA et al. (1999); MATIAZO-PREZOTTO E GLÓRIA (2000) ; MELO et al.,(1997); BERTON (2000); GRANATO e PIETZ (1992)

O pH talvez seja o fator do solo que mais afeta a disponibilidade dos metais pesados. Praticamente todos os metais têm sua disponibilidade reduzida pelo aumento do pH dos solos (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd, Mn, Al, Fe, Hg), exceção para o As, Mo e o Se, quando o aumento do pH aumenta a disponibilidade. O Cr^{+3} encontra-se na forma catiônica e tem sua disponibilidade também reduzida em pH mais elevado.(MELO et al.,1997; BERTON 2000; GRANATO e PIETZ, 1992).

As reações de precipitação, complexação e adsorção de metais são favorecidas pela elevação do pH (LUCCHESI, 1997).

Para o chumbo, o aumento do pH favorece a precipitação na forma de hidróxidos, fosfatos e carbonatos e a complexação com a matéria orgânica. Para o Cd, a elevação do pH favorece a formação de precipitados com carbonato e fosfato (MELO et al., 1997). SMITH (1994), trabalhando com batata, aveia e azevém, relaciona as concentrações de Cd nas plantas à variações de dosagem do elemento e pH do solo, reduzindo a absorção linearmente com o aumento do pH, observa ainda que o Cu é menos sensível à mudanças no pH.

CHANEY et al. (1999a) reporta efeitos fitotóxicos de Zn em culturas sensíveis cultivadas com esterco animal e plantas com teores elevados de Cu e Zn

em solos com pH 4,5. Complementa ainda, que quando cultivadas em solos com pH manejado adequadamente, com a aplicação destes esterco não foram observados sintomas de fitotoxidez. O zinco apresenta-se adsorvido principalmente a óxidos de Fe e Mn e argilas silicatadas no solo, ligações altamente favorecidas por níveis de pH do solo próximos à neutralidade (HENNEBERG, 2000).

CHANEY et al. (1987) relata que a aplicação de lodo com teores elevados de metais pode resultar em aumento destes elementos nos tecidos das culturas, especialmente Cd, Zn e Ni, em solos ácidos.

Em linhas gerais, o Brasil tem solos ácidos por ser um país de clima tropical, acarretando em uma maior solubilidade dos metais (ANDREOLI et al., 1997). O pH de lodos de esgoto pode afetar o pH dos solos a que são aplicados, alterando o padrão de disponibilização e translocação de metais e nutrientes no complexo solo/planta. Lodos com pH ácido podem promover lixiviação de metais pesados, enquanto lodos com pH alcalino tendem a inibir a movimentação destes metais no solo, além de poderem afetar sensivelmente a biota edáfica (USEPA, 1997).

A CTC influencia o movimento de nutrientes e metais pesados no solo, estabelecendo um equilíbrio entre a quantidade de elementos na solução do solo e nos sítios de troca, porém não interferindo na disponibilidade para as plantas, contudo limitando sua lixiviação. No entanto, solos com CTC mais elevada tem capacidade tampão mais pronunciada sobre variações de pH, principal fator que governa a disponibilidade destes elementos (GRANATO e PIETZ, 1992).

A idéia de utilização da CTC como parâmetro para definição dos limites máximos de metais que podem ser administrados aos solos através de aplicações de lodos surgiu na Inglaterra SOMMERS et al. (1987). Segundo o autor, esta metodologia produz respostas satisfatórias em solos onde a matéria orgânica corresponde a fração satisfatória da CTC. No entanto, ressalta que resultados de pesquisa associando extração destes elementos pelas plantas e a CTC dos solos tem mostrado resultados bastante divergentes.

A matéria orgânica afeta a disponibilidade dos metais pesados pela sua CTC

e pela formação de compostos organo-metálicos. (GRANATO e PIETZ, 1992; MELO et al., 1997; MIYAZAWA et al. 1999; SOMMERS et al., 1987). A afinidade para formação de complexos com a matéria orgânica em ordem decrescente é: Cu, Ni, Co e Fe com o Zn e o Mn mostrando pouca afinidade (CLAPP et al., 1986).

A estabilidade dos complexos organo-metálicos aumenta com o aumento do pH, atingindo a máxima estabilidade na região da neutralidade (MIYAZAWA, 1996).

O teor de Cd na solução do solo é governado pela matéria orgânica, pelo pH e pelo teor do elemento. Em solos ácidos, há formação de complexos com a matéria orgânica e as reações com óxidos de Fe e Al. Em pH mais alto, ocorre a formação de precipitados com carbonato e fosfato (MELO et al., 1997).

A mineralogia do solo tem grande influência sobre o comportamento dos metais nos solos: a) quanto mais argiloso o solo, maior tende a ser sua CTC; b) a associação dos minerais de argila com óxidos de Fe, Al e Mn contribuem para a fixação de metais (GRANATO e PIETZ, 1992; MELO et al., 1997). A fixação dos metais a partir destes componentes do solo é reconhecida como um dos principais meios de redução da disponibilidade e de remoção de metais dos solos (GRANATO e PIETZ, 1992).

MAISONNAVE et al.(2001) avaliando a distribuição dos metais pesados em função do diâmetro das partículas do solo, encontrou que quase metade (45,7%) destes elementos se encontravam aderidos às partículas com menos de 20 μm .

MATTIAZO e ANDRADE (2000) atribuem a baixa quantidade de metais disponíveis em solos ácidos tratados com biossólidos à atuação dos óxidos de Fe e Al. Segundo MATTIAZO-PREZOTO e GLÓRIA (2000) esta fração da mineralogia do solo é fundamental na fixação destes elementos do solo, propondo que os níveis máximos permitidos de metais em solos sejam definidos em função dos teores de óxidos. CHANEY et al.(1999a e b) também pondera que o risco potencial da adição de um metal no solo pode ser reduzido por constituintes do solo que retenham o elemento, principalmente óxidos de Fe e Mn.

A capacidade de retenção de metais no solo é dinâmica e pode ser alterada

por práticas de uso e manejo (MIYAZAWA et al., 1999; SOMMERS et al., 1987). Os principais fatores associados à redução da disponibilidade destes elementos no solo são o aumento da matéria orgânica através de adubação verde, adubação orgânica, cobertura morta, e o aumento do pH, prática agrícola usual através da calagem.

Além dos fatores edáficos, a absorção de metais pelas plantas depende ainda do genótipo da planta (WEBBER, 1984; SOBRINHO e VELLOSO, 1993). A diferença na absorção de metais pelas espécies são bastante elásticas. Geralmente hortaliças como beterraba e alface acumulam mais metais do que as forragens e a maioria dos grãos (WEBBER, 1984; CHANEY et al., 1987). CHANEY et al. (1999b) ponderam que a secreção de fitosideroforos pelas raízes das gramíneas são responsáveis pela menor sensibilidade destas a solos contaminados com metais pesados em relação as dicotiledôneas.

Também são grandes as diferenças entre cultivares da mesma espécie e entre as diferentes partes da planta (BERTON, 2000). As partes reprodutivas geralmente apresentam concentrações menores do que raízes, folhas e caule. (WEBBER, 1984; MIYAZAWA, 1996) Esta característica garante a segurança alimentar, reduzindo os riscos de contaminação dos consumidores, no entanto, favorece a manutenção destes elementos na dinâmica do solo, mantendo-os assimiláveis pelas plantas.

MAISONNAVE et al.(2001) encontrou teores elevados de metais pesados nas raízes plantas de arroz cultivadas em solo adubado com 30 t M.S de lodo /ha, no entanto, a parte aérea das plantas não apresentou contaminação, exceto para Cu e Zn, cujos teores eram semelhantes entre raízes e folhas.

As características da fonte contaminante também influenciam a disponibilidade dos metais. Assim a adição de metais através do lodo de esgoto terá dinâmica no solo, mobilidade e fitodisponibilidade, diferenciada dos elementos adicionados através de sais. O lodo de esgoto é constituído de material orgânico e inorgânico (óxidos de Fe e Al, silicatos, fosfatos e carbonatos) capazes de adsorver especificamente os metais e reduzir sua mobilidade e disponibilidade quando adicionado ao solo (BERTON, 2000; CHANEY et al, 1999b; SOMMERS et al., 1987)

MARCHIORETTO et al. (2001) analisando a métodos de extração de metais em lodo de esgoto na Holanda encontraram 85 % do Cd e Zn e 40 % do Ni ligados principalmente à óxidos de Fe e Mn, Cu (85%) e Cr (65%) incorporados a matéria orgânica e agregados organo-minerais. HENNEBERG (2000) avaliando lodo urbano e lodo industrial, encontrou o Zn associado principalmente a óxidos de Fe e Mn, matéria orgânica e residual; o Cu associado a matéria orgânica para o lodo urbano e também a óxidos no lodo industrial e o Ni na fração residual.

Outro fator associado a disponibilidade e absorção de metais pesados pelas plantas, é a interação entre os metais presentes no lodo. CHANEY et al., (1999b) e BERTON (2000) relatam como mais importantes as interações entre Cl e Cd (onde a maior concentração do primeiros aumenta a disponibilidade de Cd) e Cd e Zn (antagonismo).

3.3.3.4. Efeito do lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados nos solos

A concentração de metais pesados nos lodos de esgoto é bastante variável. A quantidade de metais pesados adicionados ao solo pelo lodo é um dos principais fatores limitantes para sua utilização (ANDREOLI, 1988, ANDREOLI e FERNANDES, 1997; ANDREOLI e PEGORINI, 1999; LUCCHESI, 1997; MATIAZO - PREZOTTO e GLÓRIA, 2000; BERTON, 2000, SANTOS, 1979; USEPA, 1979; MENDES, 1981; BONNET, 1995).

Quando aplicados ao solo a partir de lodos, estes elementos podem ser solubilizados e, lixiviados ou disponibilizados para as plantas com a mineralização da matéria orgânica e solubilização das formas minerais (CLAPP et al., 1986). Desta forma, há referências de que a utilização do lodo pode aumentar a concentrações dos metais pesados no solo e os riscos de efeitos nocivos à plantas, animais e em menor escala ao homem.

Os riscos potenciais causados por elementos presentes no lodo de esgoto foram estudados por CHANEY (1994). O autor argumenta que em solos fortemente

ácidos ocorre aumento na absorção de Zn, Cd, Ni, Mn, e Co, e um aumento do risco de fitotoxicidade de Cu, Zn, e Ni. Já em solos alcalinos, ocorre maior absorção de Mo e Se. Enquanto o Pb e o Cr adicionados através de biossólidos não são absorvidos significativamente independente do pH do solo.

HECKMAN et al. (1987) conduziram um experimento em 2 localidades para verificação do efeito residual da aplicação do lodo de esgoto em presença de metais pesados e absorção destes elementos pela cultura da soja. Os autores encontraram variação na concentração em função do tipo de lodo (digeridos, caleado, cru e compostado), doses de aplicação e do pH do solo. Em solos com lodo não caleado observaram-se as maiores concentrações de metais pesados na planta, provavelmente em função do menor pH do solo. Os autores concluíram que a composição do lodo juntamente com o pH do solo podem exercer influência por até 9 anos após a primeira aplicação.

MARTINEZ et al. (2001) comparando os efeitos da aplicação de fertilizante químico, lodo desaguado (4 e 8 t m.s/ha) e lodo líquido (8t M.S./ha) sobre o solo e cultivo de couve-flor, não encontraram alteação nos teores totais de Cd, Ni, Cr, Zn e Cu nos solos. Os teores trocáveis de Zn foram crescentes com as dosagens e mais expressivas para o lodo líquido e indiferentes para os outros metais. Nas cabeças das plantas os teores de Cd, Cu, Pb e Mo não foram alterados, enquanto os teores de Zn foram proporcionais as doses aplicadas e o níquel apenas nas maiores dosagens, embora ainda maiores com o lodo seco. Os autores atribuem a indiferença na absorção da maioria dos metais em função do elevado pH do solo (8,0) e ao teores de Zn no lodo a indiferença para absorção de Cd.

MELO et al. (2001) avaliando a concentração de Cd, Cr e Ni em latossolo roxo tratado com biossólidos nas dosagens de 0; 2,5; 5 e 10 t/ha e cultivado com milho durante 3 anos não detectaram mobilidade dos elementos no perfil do solo.

Dos ANJOS (1999), aplicando altas dosagens de lodo (388 t/ha - pH 7,5 e 7,6) parcelada em 5 vezes durante 12 meses, observou lixiviação de N-NO_3^- , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} . No entanto, não observou lixiviação ou passagem para a cadeia alimentar de

metais pesados, observando apenas aumento nos teores de Zn e Cu na palhada da cultura do milho, sem alteração das concentrações em sabugo e grãos. O autor atribui os resultados a adsorção e co-precipitação de Cd, Cr, Cu, Ni, Zn e Mn com óxidos de Fe e Al, substâncias orgânicas e minerais de argila, favorecidos pela elevação do pH com a adição do lodo (de 4,4 para 7,0 a 7,4) e consequentemente reduzindo seus teores na solução.

O manejo de biossólidos em regiões de clima tropical deve levar em consideração o poder diferenciado de acumulação de metais dos solos e a possibilidade de liberação dos mesmos com a variação das propriedades químicas do solo, especialmente pH. Alguns cuidados em relação aos limites de tolerância da adição desses metais pesados no solo devem ser tomados, pois o efeito a longo prazo ainda é desconhecido (MORTVEDT, 1996).

Com o objetivo de verificar os efeitos do pH do solo em relação à translocação dos metais pesados Ni, Cu e Zn em pastagens de azevém, SMITH(1994) determinou a concentração destes metais em níveis de pH entre 4,2 e 7,0. Os resultados mostraram que o Cu foi o menos afetado por mudanças no pH quando comparado com Ni e Zn. Já em relação ao elemento Cd, sua absorção pelas plantas é inversamente proporcional à redução do pH. Em experimento realizado com batata, azevém e aveia relacionando as concentrações de Cd com a variação de pH, o autor verificou que as concentrações nos tubérculos e cascas de batatas, palhas de aveia e azevém decresceram como funções lineares simples com o aumento de pH na faixa estudada (3,9 a 7,6).

OLIVEIRA et al. (2001) encontraram alta tolerância da cultura de arroz cultivada em solo adubado com lodo de esgoto (0, 20, 40 e 80 t/ha) enriquecido com os elementos Cd (1,7 g/kg) e Zn (8 g/kg), que não alteraram a produção da cultura. Os teores de metais foram avaliados em raízes, folhas e grãos, verificando-se que estes se concentraram principalmente na raízes, que funcionaram como filtro, reduzindo a transferência para a parte aérea da planta.

TRANNIN et al. (2001) trabalhando com lodo industrial (0, 384, 575, 766 e

920 g/vaso) aplicado em latossolo vermelho para cultivo de mudas de eucalipto em casa de vegetação encontrou melhor crescimento das mudas nos tratamentos com lodo em relação a adubação mineral, com respostas lineares para M.S. da parte aérea, da raiz, altura e diâmetros. Na dose máxima a M.S. da parte aérea e da raiz foi duas vezes superior à obtida com adubação química. O autor encontrou ainda, aumento nos teores de Cu e Zn nos solos e nos tecidos foliares das culturas, no entanto sem verificar toxidez.

A utilização de lodo de esgoto, geralmente resulta em maiores concentrações de metais pesados nas plantas. Este aumento, normalmente, é maior no primeiro ano de cultivo, diminuindo com o tempo. Na maioria das vezes estes incrementos nos teores de metais acumulados pelas plantas estão abaixo dos níveis toleráveis, não se apresentando fitotóxicos, e são considerados seguros para o consumo animal. (SOPPER, 1993)

COSTA e MATTIAZZO (2001) avaliaram a disponibilidade de macronutrientes e metais pesados (Cd, Cu, Ni e Zn) para plantas de braquiária em experimento conduzido em vasos com solos latossolo vermelho e l. amarelo adubados com lodo de esgoto (388 t/ha dois anos antes do plantio) comparado com solo corrigido e adubado. Os resultados mostraram que as plantas das áreas com biossólido exportaram mais Cu e Zn que as plantas cultivadas com fertilização química. A produção de matéria seca também foi maior nas áreas com lodo, verificando-se, no entanto, teores insuficientes de K e Mg.

PIGOZZO et al. (2001) encontraram aumento dos teores dos metais Cu, Mn, Fe e Zn (digestão nitro-perclórica) em latossolo vermelho escuro e plantas de milho safrinha adubados com lodo de esgoto (19 t/ha) e resíduo de refino na mesma quantidade, ambos neutralizados com 60% de uma mistura de CaO + MgO na proporção de 3:1.

OLIVEIRA et al. (2001b) relatam aumento da fração residual em solo em latossolo vermelho escuro e podzólico vermelho adubados com lodo enriquecido com Cd e Zn e Pb em função do tempo entre a aplicação e as análises (4, 12, 16, 24 e 160

semanas), indicando decréscimo da solubilidade destes elementos.

SIKORA e WOLT (1986) aplicaram lodo de esgoto com 4 níveis diferentes de Cd e Zn em cultivo de milho. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação e verificou-se que nos níveis mais elevados de Cd (75,1 mg/kg) e Zn (759 mg/kg) no solo, resultaram num decréscimo de matéria seca de 19 e de 25 % respectivamente, bem como da região apical e raiz. Observou-se decréscimo no conteúdo de Cd com aumento do conteúdo de Zn na raiz. Na parte apical da planta, os 2 elementos aumentaram. Já no solo, um aumento no teor de Zn no lodo favoreceu maior solubilidade de Cd.

CHANEY et al. (1994) observam detalhadamente o antagonismo dos elementos Cd e Zn em solos contaminados por aplicações de lodo com elevados teores de Cd adubados com composto. Utilizando cultura de alface, os autores observaram que em plantas deficientes em Zn, grandes concentrações de Cd foram observadas, enquanto nas parcelas acrescidas de Zn na forma de sal (disponível) a absorção de Cd foi fortemente reduzida.

DOWDY et al. (1994) avaliaram a utilização de lodo de esgoto em cultura de milho, aplicado anualmente em função da recomendação agrônômica de Nitrogênio (aplicação total de 224 t/ha), sobre a dispersão de metais pesados na bacia de Rosemount. As concentrações de Cd, Ni e Pb na água de escoamento superficial da bacia não foram alteradas pela aplicação de lodo durante 10 anos. As concentrações de cobre foram significativamente maiores, mas 10 vezes inferiores ao limite para água potável nos EUA; as concentrações de Zn foram as maiores e as perdas de Cr foram baixas e sempre associadas a erosão. As concentrações dos metais Cd, Cr, Cu, Ni e Pb na planta e nos grãos não aumentaram significativamente após 19 anos de aplicação contínua de lodo. Apenas a concentração de Zn foi significativamente maior nos tecidos da planta, nos grãos os teores apresentaram apenas tendência de aumento. Os elementos Cd, Cr, Cu e Zn, após 10 anos de utilização, foram encontrados em teores até 3 vezes maiores na profundidade de 0,16 a 0,3 m em comparação a esta profundidades nos solos sem aplicação de lodo. Ni e Pb permaneceram na camada de 0

a 0,15 m onde o resíduo foi incorporado. Após 17 anos de aplicações foi observado movimento de Cr e Cu a profundidade de 0,45 a 0,6 m. No entanto, não foi observada lixiviação destes elementos para a lagoa de captação após 15 anos de aplicações.

HORMANN, CLAPP e DOWDY et al. (1994) aplicando 20, 30 e 60 t/ha de lodo caleado ($\text{Ca} > 14\%$) durante seis anos, seguidos de 4 anos sem aplicação de lodo, em cultura de milho, só observaram diferença estatística para a concentração de Cd, em todos os anos e mais intensos com as maiores doses, e Zn e pequeno incremento em grão para o Cd em todos os tratamentos, inclusive testemunha após 10 anos. O utilização do lodo aumentou o pH das parcelas de 6,5 para 7 a 7,5, provavelmente reduzindo a disponibilidade e mobilidade destes elementos, reduzindo os risco de transferência na cadeia alimentar e contaminação de água de sub-superfície.

LEVINE et al. (1989) avaliaram a concentração de metais pesados (Cd, Cu, Pb e Zn) em lodos de esgoto, e solos e plantas adubados com o material, fertilizante químico e sem adubação por 10 anos consecutivos entre 1978 e 1987. Os autores verificaram tendência de redução das concentrações dos metais pesados Cd, Pb e Zn no lodo, possivelmente em função do controle de descargas. O Cu foi o único elemento que teve teores maiores no lodo na última amostragem (1987). O uso do lodo teve impacto significativo sobre o aumento dos teores totais dos elementos no solo, aumentando para todos, no entanto, se mantiveram abaixo dos teores limitantes para aplicação pela normatização americana (USEPA "Part 503") e pela normatização européia (EC 86/278/EEC). O autor verificou ainda a influência do genótipo sobre a absorção destes elementos, observando que nas mesmas condições de solo, a espécie perene *Rubus frondosus*, apresentava uma concentração de Zn de 41,0 mg/kg e a anual *S. faberii* foi de 97,3 mg/kg.

3.3.3.5. Avaliação de Risco e as teorias Barreira Solo-Planta, Platô e Bomba relógio

Os metais pesados presentes no lodo de esgoto acumulam no solo após aplicações sucessivas podendo atingir níveis tóxicos para os organismos do solo,

plantas, animais, seres humanos através da transferência pela cadeia alimentar e do processo de magnificação biológica.

Em função deste risco potencial, muitos países estabeleceram limites para a adição destes elementos através de lodos de esgoto ao solo. As limitações normalmente se referem a (USEPA, 1997; HALL, 1998):

- I - concentração destes elementos no lodo;
- II - a quantidade de metais pesados adicionadas ao solo; e
- III - a concentração máxima que estes elementos podem atingir no solo após a aplicação do lodo

Neste sentido, duas filosofias podem ser distinguidas com relação ao acúmulo de metais pesados no solo (McGRATH et al, 1994; BERTON, 2001; SANTOS, 2001):

a) **Impacto Zero:** ou balanço de metal, é a mais restritiva, sugere que as quantidades de metais a serem adicionadas ao solo deve apenas repor as pequenas perdas resultantes da remoção pelas culturas, erosão e lixiviação. Esta filosofia é empregada em alguns países da Europa onde o balanço entre as quantidades de metais que entram no solo como resultado da atividade humana (deposição atmosférica, contaminação em adubos e outros) é maior que as que saem pela remoção pelas culturas, erosão e lixiviação, ou seja o balanço é positivo. Desta forma o solo e outros recursos naturais são preservados para as gerações futuras, possibilitando-o a ser empregado para qualquer finalidade.

b) **Rotas de exposição:** adotada pela USEPA, é baseada em 14 rotas de exposição existentes com aplicação do biossólido no solo. Procurou-se determinar as concentrações mais baixas dos metais no solo que poderiam causar efeito adverso nos organismos mais sensíveis pertinentes a cada rota de exposição. Como resultado os limites foram mais amplos que os estabelecidos pela CEE para acúmulo de metais no solo.

Desde os anos 1970 pesquisas tem sido conduzidas com o intuito de avaliar os riscos ambientais resultantes da contaminação dos solos por metais pesados

originários das mais diversas fontes, desde o material geológico, fontes industriais, agricultura até fontes urbanas. Estas pesquisas estudaram a dinâmica destes elementos no meio ambiente e desvendaram diversos processos associados à características dos solos, das plantas e dos animais que interferem na transferência destes contaminantes através da cadeia alimentar e ao meio ambiente (CHANEY et al., 1999b).

Dentro destes conceitos, destaca-se o "barreira solo-planta", relacionado com a capacidade do solo e das plantas reterem os metais pesados nos locais de aplicação, dificultando o deslocamento para outros locais na forma de poluentes (MALAVOLTA, 1994). Este conceito fundamenta-se em comportamento semelhante dos metais pesados quanto a mobilidade ou imobilidade nos solos, plantas e na cadeia alimentar (CHANEY et al., 1999b).

O conceito divide os elementos em 4 grupos segundo semelhança de comportamento na cadeia alimentar (BERTON, 2000; CHANEY et al., 1999b):

GRUPO I - Alguns elementos são relativamente insolúveis nos solos e quando adicionados através de contaminantes são precipitados, co-precipitados, adsorvidos especificamente em óxidos de Fe e Mn, quelados com compostos orgânicos ou fortemente ligados a outras partículas do solo de forma a reduzir sua fitodisponibilidade ou biodisponibilidade. São elementos tão insolúveis nos solos que a absorção por plantas praticamente não ocorre (Cr^{3+} , Sn, Si, Ti, Au, Zr, Y e Ag).

GRUPO II - Zn, Mn, Ni, Cu, As e Al - a concentração do elementos resulta em fitotoxicidade aos tecidos das plantas em níveis menores do que os crônicos tóxicos para os animais. Estes elementos são absorvidos relativamente rápido em solos com pH que favorece a absorção pelas raízes e transporte para as folhas. Neste grupo distinguem-se os elementos Zn, Mn, Ni e B absorvidos a níveis tóxicos às folhas e Cu, As e Al, tóxicos para raízes e transportados em níveis levemente maiores para a parte aérea da planta quando ocorre fitotoxicidade.

GRUPO III - Hg, Pb, As compreende aqueles elementos que são absorvidos pelas raízes das plantas mas não são translocados para a parte aérea em quantidades suficientes para causar riscos na cadeia trófica. Os riscos potenciais destes elementos

são maiores com a ingestão direta de solos contaminados.

GRUPO IV - Mo, Se, Cd e possivelmente o Co- são os elementos cujas concentrações em plantas cultivadas em solos contaminados podem ser tóxicas para os consumidores em níveis abaixo dos fitotóxicos.

A tabela 15 mostra que a hipótese da barreira solo-plantas assegura proteção em relação ao risco de transferência de metais pela cadeia alimentar, falhando apenas com os elementos Se e Mo, e Cd em apenas em certas circunstâncias (CHANEY et al., 1999b).

TABELA 15. NÍVEIS MÁXIMOS TOLERÁVEIS PARA ANIMAIS EM COMPARAÇÃO AOS NÍVEIS DE FITOTOXICIDADE.

| Elemento | Barreira solo planta | Plantas (mg/Kg folias MS) | | Máximos níveis crônicos toleráveis (mg/kg MS dieta) | | | |
|----------|----------------------|---------------------------|----------------|---|--------|--------|------|
| | | Níveis normais | Níveis tóxicos | Bovinos | Ovelha | Suínos | Aves |
| As | Sim | 0.01-1 | 3-10 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| B | Sim | 7-75 | 75 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Cd | Não | 0.1-1 | 5-700 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Cr | Sim | 0.1-1 | 20 | (3000) | 3000 | (3000) | 3000 |
| Co | Não ? | 0.01-0.3 | 25-100 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Cu | Sim | 3-20 | 25-40 | 100 | 25 | 250 | 300 |
| F | Sim ? | 1-5 | | 40 | 60 | 150 | 200 |
| Fe | Sim | 30-300 | | 1000 | 500 | 3000 | 1000 |
| Mn | ? | 15-150 | 400-2000 | 1000 | 1000 | 400 | 2000 |
| Mo | Não | 0.1-3.0 | 100 | 10 | 10 | 20 | 100 |
| Ni | Sim | 0.1-5 | 50-100 | 50 | 50 | 100 | 300 |
| Pb | Sim | 2-5 | | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Se | Não | 0-2 | 100 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| V | Sim ? | 0.1-1 | 10 | 50 | 50 | 10 | 10 |
| Zn | Sim | 15-150 | 500-1500 | 500 | 300 | 1000 | 1000 |

FONTE: CHANEY et al., 1999B

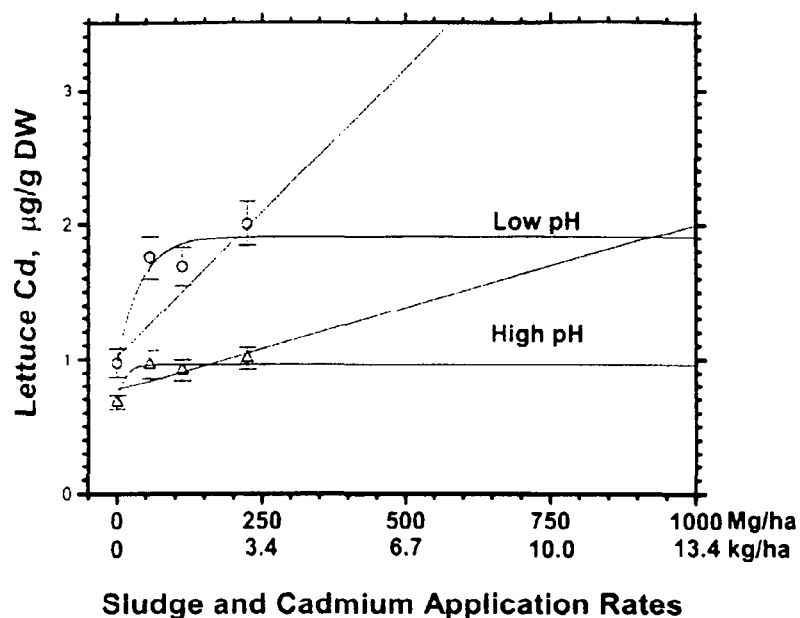
De acordo com CHANEY (1994) e CHANEY et al. (1999a e b), para os cátions absorvidos fortemente nos solos, o padrão de absorção destes elementos para as plantas segue tendência curvilínea forte, isto é a concentração do elemento na planta aproxima-se de um platô com o aumento das doses de lodo - teoria do platô - pelo menos para lodos de alta qualidade (baixo conteúdo de metais).

O autor pondera três questões com respeito à teoria: Primeiro, a tendência de incrementos lineares pode ser verificada nos primeiros anos de aplicação e durante o período de rápida decomposição da matéria orgânica adicionada ao solo pelo lodo quando altas dosagens são utilizadas, que aumentariam a disponibilidade dos

elementos; e em faixas de pH que favoreçam a disponibilidade (pH baixo). Segundo, as curvas devem ser obtidas para mesmas faixas de pH ou corrigidas. Terceiro, maiores concentração de metais no lodo alteram a curva de absorção, apresentando "platô" em níveis de absorção mais elevados; bio sólidos mais contaminados refletem níveis de fitodisponibilidade maiores em taxas de adição iguais do elemento.

A figura 2, apresenta os resultados de análise linear versus platô para absorção de Cd em alface cultivada em solo adubado com 0,56, 112 e 224 t MS de lodo/ha, com pH corrigido para 6,2/6,5 com calcário e não corrigido ($\leq 5,5$). Os resultados foram obtidos entre 1976 e 1983 e extrapolados para a dosagem de 1000 t MS/ha (CHANEY et al., 1999a com dados de CHANEY et al., 1982).

FIGURA 2. ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR VERSUS PLATÔ DA ABSORÇÃO DE CÁDMIO POR PLANTAS DE ALFACE (CHANEY et al., 1999A)



A teoria da "Bomba Relógio" critica a teoria do platô postulando que a grande capacidade de absorção de metais nos lodos e em solos adubados com lodo se deve a matéria orgânica do resíduo. Assim, com o fim das aplicações, a decomposição da matéria orgânica, revertendo-se ao nível original, poderá liberar os metais complexados por ela e aumentar a disponibilidade para as plantas (CHANEY, 1999a,

BERTON 2000). Aqueles elementos não associados à matéria orgânica também poderão ter sua disponibilidade afetada pela redução do pH em função da decomposição da matéria orgânica. Segundo BERTON (2000), trabalhos de longo prazo tem demonstrado que a hipótese da bomba-relógio não se verifica na prática.

3.3.3.6. Limites de metais pesados nos solos

As abordagens científicas, impacto zero (balanço de metais) e vias de exposição, utilizadas na definição dos níveis de metais em lodos e solos pelos diferentes países são, ambas, conceitualmente válidas, mesmo que resultem em níveis diferentes de proteção ambiental.

As disparidades entre os limites adotados refletem prioridades políticas, econômicas e ambientais de cada país (HALL, 1998) e se devem a (McGRATH et al., 1994):

I - uso de diferentes critérios para seleção e interpretação de resultados

II - Os métodos de avaliação de risco.

III - O nível de proteção desejado em função dos riscos aceitáveis a saúde e efeitos sobre o solo e o meio ambiente.

Na comunidade europeia, os países membros têm liberdade para estabelecer restrições individuais em relação aos limites de elementos potencialmente tóxicos nos biossólidos, solos e doses de aplicação. Muitos países estabeleceram níveis mais restritivos que os da diretivas (HALL, 1998).

A tabela 16 apresenta os limites máximos de concentração de poluentes em solos para que a aplicação de lodo seja permitida (HALL, 1998). A USEPA Part 503 CFR 40 não estabelece limite de concentração em solos, controlando os riscos, no entanto, taxas máximas cumulativas totais e anuais para adição de metais via biossólidos. A CEE também estabeleceu limites máximos. A tabela 17 a adição máxima de metais permitida anualmente para solos tratados com lodo (McGRATH et al., 1994)

TABELA 16. TEORES LIMITES DE METAIS PESADOS EM SOLOS AGRÍCOLAS PARA A APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO.

| País | Pb | Cd | Cr | Cu | Ni | Hg | Zn | As | F | Mo | Se |
|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|
| mg/kg de solo | | | | | | | | | | | |
| Áustria | 100 | 1 | 100 | 100 | 60 | 1 | 300 | | | | |
| Bélgica | | | | | | | | | | | |
| Arenoso | 50 | 1 | 100 | 50 | 30 | 1 | 150 | | | | |
| Siltoso | 300 | 3 | 150 | 140 | 75 | 1.5 | 300 | | | | |
| Dinamarca | 40 | 0.5 | 30 | 40 | 15 | 0.5 | 100 | | | | |
| Finlândia | 60 | 0.5 | 200 | 100 | 60 | 0.2 | 150 | | | | |
| França | | | | | | | | | | | |
| pH > 6,0 | 100 | 2 | 150 | 100 | 50 | 1 | 300 | | | | |
| Alemanha | | | | | | | | | | | |
| pH 5-6 | 100 | 1 | 100 | 60 | 50 | 1 | 150 | | | | |
| pH >6 | 100 | 1.5 | 100 | 60 | 50 | 1 | 200 | | | | |
| Irlanda | 50 | 1 | | 50 | 30 | 1 | 150 | | | | |
| Itália | 100 | 1.5 | | 100 | 75 | 1 | 300 | | | | |
| Holanda | 85 | 0.6 | 100 | 36 | 35 | 0.3 | 140 | 29 | | | |
| Noruega | 50 | 1 | 100 | 50 | 30 | 1 | 150 | | | | |
| Espanha | | | | | | | | | | | |
| pH <7 | 50 | 1 | 100 | 50 | 30 | 1 | 150 | | | | |
| pH >7 | 300 | 3 | 150 | 210 | 112 | 1 | 450 | | | | |
| Suécia | 40 | 0.4 | 30 | 40 | 30 | 0.3 | 75 | | | | |
| Suíça | 50 | 0.8 | 75 | 50 | 50 | 0.8 | 200 | | 400 | 5 | |
| Inglaterra | | | | | | | | | | | |
| pH 5,0 - 5,5 | 300 | 3 | 400 | 80 | 50 | 1 | 200 | 50 | 500 | 4 | 3 |
| pH 5,5 - 6,0 | 300 | 3 | 400 | 100 | 60 | 1 | 200 | 50 | 500 | 4 | 3 |
| pH 6,0 - 7,0 | 300 | 3 | 400 | 135 | 750 | 1 | 200 | 50 | 500 | 4 | 3 |
| pH > 7,0 | 300 | 3 | 400 | 200 | 110 | 1 | 300 | 50 | 500 | 4 | 3 |
| Austrália | 150 | 5 | 250 | 375 | 125 | 4 | 700 | 20 | | | 8 |

FONTE: ADAPTADO DE HALL (1998); SANTOS (2001)

TABELA 17. ADIÇÃO MÁXIMA ANUAL DE METAIS PERMITIDA EM SOLOS AGRÍCOLAS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO.

| País | Ano | As | Cd | Cu | Cr | Ni | Pb | Zn | Hg |
|--------------------------|-----------|---------------|----------|--------|------|--------|-------|------|---------|
| | | kg / ha / ano | | | | | | | |
| CEE | 1986 | | 0,15 | 12 | | 3 | 30 | 30 | 0,1 |
| Holanda | Culturas | 1995 | 0,0025 | 0,15 | | 0,0038 | 0,225 | 0,3 | 0,00075 |
| | Pastagens | 1995 | 0,00125 | 0,0075 | | 0,0038 | 0,225 | 0,3 | 0,00075 |
| Alemanha | 1986 | | 0,15 | 6 | | 1 | 6 | 15 | 0,125 |
| Reino Unido ¹ | 1989 | | 0,15 | 7,5 | | 3 | 15 | 15 | 0,1 |
| Espanha | 1990 | | 0,15 | 12 | 4,5 | 3 | 15 | 30 | 0,1 |
| Dinamarca ² | 1995 | | 0,008 | 10 | 1 | 0,3 | 1,2 | 40 | 0,008 |
| Finlândia | 1995 | | 0,0015 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 1,5 | 0,001 |
| Noruega ³ | | | 0,008 | 2 | 0,25 | 0,16 | 0,2 | 3 | 0,01 |
| Suécia | 1995 | | 0,002 | 0,6 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,5 | 0,0025 |
| Suécia ⁴ | 2020 | | <0,00075 | 0,3 | 0,04 | 0,025 | 0,25 | 0,5 | 0,001 |
| EUA | 1995 | 2,0 | 1,9 | 75 | | 21 | 15 | 140 | 0,85 |
| Austrália | | 2,0 | 1,9 | 75 | 150 | 21 | 15 | 140 | 0,85 |
| EUA ⁵ | | 41 | 39 | 1500 | | 420 | 300 | 2800 | 17 |

FONTE MC GRATH et al. (1994); SANTOS (2001)

¹ Aplicação de lodo em função das necessidades de N e P das culturas

² Máximo de 10 t / ha / ano de lodo seco, numa média de dez anos, mas não excedendo 250 Kg de N e 40 Kg de P / ha / ano

³ Limite máximo de 20 t / há de lodo seco em um período de 10 anos

⁴ Limites a longo prazo. Há limites intermediários para 1998 e 2005

⁵ Taxa máxima de aplicação cumulativa para aplicação de biossólidos em solos

A CETESB, no Estado de São Paulo, definiu em seu "relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas" - CETESB (2002) - valores de alerta, qualidade e valores máximos para áreas agrícolas (tabela 18) baseada em concentrações fitotóxicas e os teores máximos admitidos para aplicação de lodos de esgoto na literatura internacional.

TABELA 18. VALORES DE ALERTA EM SOLOS AGRÍCOLAS PARA METAIS PESADOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.

| Elementos | | Valores de referência de qualidade | Valores de alerta | Valores de intervenção para áreas agrícolas |
|------------|----|------------------------------------|-------------------|---|
| | | (mg/kg de solo) | | |
| Antimônio | Sb | <0.5 | 2 | 5 |
| Arsênio | As | 3.5 | 15 | 25 |
| Bário | Ba | 75 | 150 | 300 |
| Cádmio | Cd | <0.5 | 3 | 10 |
| Chumbo | Pb | 17 | 100 | 200 |
| Cobalto | Co | 13 | 25 | 40 |
| Cobre | Cu | 35 | 60 | 100 |
| Cromo | Cr | 40 | 75 | 300 |
| Mercurio | Hg | 0.05 | 0.5 | 2.5 |
| Molibdênio | Mo | <25 | 30 | 50 |
| Níquel | Ni | 13 | 30 | 50 |
| Prata | Ag | 0.25 | 2 | 25 |
| Selênio | Se | 0.25 | 5 | |
| Zinco | Zn | 60 | 300 | 500 |

FONTE: CETESB (2002)

No Estado do Paraná a grande discrepância entre os teores de metais pesados nos solos (SOUZA et al. 1996, ANDREOLI, 1999, LUCHESI, 1997; HENNEBERG, 2000), resultado da grande diversidade litoestratigráfica que originou os solos, impossibilitou a definição de concentrações universais para estes metais que pudessem garantir a segurança da aplicação do lodo em todos os solos do Estado, carecendo-se ainda de estudo para equacionamento desta questão (ANDREOLI e PEGORINI, 2000).

3.3.4 Produtividade e Desenvolvimento das Culturas

Os efeitos da utilização de biossólidos sobre as características do solo e a produtividade das culturas dependem das condições do solo, verificando-se respostas maiores nos solos degradados, com problemas de estrutura e fertilidade. A tabela 19 apresenta resultados do uso de lodo em escala piloto conduzidos em pequenas propriedades na Região Metropolitana de Curitiba (PR) com a cultura do milho (CANZIANI et al., 1999).

TABELA 19. PRODUTIVIDADE DE LAVOURAS FERTILIZADAS COM BIODSÓLIDOS E COMPLEMENTAÇÃO QUÍMICA COMPARADAS COM LAVOURAS FERTILIZADAS QUIMICAMENTE.

| Município | Produtividade sem lodo (kg/ha) | Produtividade com lodo (kg/ha) | Varição (%) | Varição absoluta (kg/ha) |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------------|
| Balsa Nova | 4.465 | 8.056 | + 80 | 3.591 |
| Fazenda Rio Grande | 8.150 | 8.700 | + 7 | 550 |
| | 4.750 | 7.093 | + 49 | 2.343 |
| | 4.925 | 6.973 | + 42 | 2.048 |

FONTE: ADAPTADO DE CANZIANI et al. (1999)

A EMATER-Pr, em ensaios conduzidos em propriedades agrícolas do município de Fazenda Rio Grande (PR) entre 1994 e 1997, verificou aumentos de produtividade entre 32 e 54 % (NASCIMENTO E BOTTEGA, 1998). Os grandes aumentos de produtividade observados nestes estudos evidenciam, segundo os autores, o baixo nível tecnológico destes produtores, que muitas vezes não fazem uso de corretivos e fertilizantes. Em sistemas agrícolas de alta tecnologia, as respostas agrônômicas esperadas com uso de biossólidos são menos expressivas. Contudo, nestes casos, a vantagem econômica é a redução da demanda de fertilizantes químicos, especialmente nitrogênio, além das melhorias físicas, químicas e biológicas do solo a médio prazo.

BETTIOL et al. (1983) em experimento em vasos com as culturas de milho arroz e soja não observou diferença estatística entre a produção de matéria seca das culturas fertilizadas com 9 t/ha de matéria seca de lodo e a fertilização mineral recomendada, observando ainda, maior produção de matéria seca no milho cultivado com lodo, embora não significativamente. BISCAIA e MIRANDA (1996) obtiveram médias acima de 5 t/ha de milho com as dosagens de 2, 4, 6 e 60 t/ha de lodo base seca. Os autores relatam ainda que o retorno com lodo pode chegar a quadruplicar em relação ao adubo químico.

O efeito da aplicação de lodo complementado com fertilizantes minerais avaliado por DESCHAMPS et al (1997) na cultura do milho, baseado na recomendação mineral para a cultura, mostrou que a maior produtividade (4.248 kg/ha) foi obtida no tratamento fornecendo 100% do lodo via lodo, porém não houve diferença estatística.

DESCHAMPS e FAVARETO (1997), em experimento semelhante conduzido com as culturas de feijão e girassol, não observaram diferença estatística entre os tratamentos com N mineral ou orgânico, no entanto observaram grande superioridade dos tratamentos utilizando N mineral sobre o tratamento apenas com lodo na cultura do feijão.

Segundo SOPPER (1993), a aplicação de lodo em área degradada proporcionou efeito benéfico acelerando o estabelecimento e crescimento de gramíneas e leguminosas. As áreas onde foi aplicado lodo apresentaram maior porcentagem de cobertura, maior produtividade e melhor desenvolvimento radicular. Aplicando lodo de esgoto a uma rotação de milho x aveia + ervilhaca, DA ROS et al. (1993) obtiveram aumentos na produção de matéria seca do milho e da associação aveia + ervilhaca cultivada após o milho sem nova adubação.

CLAPP et al. (1994) encontraram produtividade média de 8,4 t/ha de grãos e 17,4 t/ha de silagem durante 20 anos em solo adubado com lodo de esgoto a taxa de 11 t M.S./ha (475 Kg de N total) anualmente e complementadas quimicamente quando necessário. As parcelas de controle tiveram média de 7,7 t/ha de grãos e 15,9 t/ha de silagem. Áreas de pastagem adubadas com 15 t/ha de lodo seco (830 Kg de N total) por ano, a produção de forragem foi de 11,6 t/ha em três cortes contra 9,6 das plantas sem lodo.

MARCHIORI JR et al. (1998) aplicando 0, 40, 80 e 160 t / ha de lodo de esgoto acrescidas de 0, 50 ou 100 % da fertilização química recomendada em cultura de cana de açúcar verificaram maior produtividade de colmos nas parcelas adubas com 160 t de lodo /ha, e a aplicação de 80 t de lodo mais 50 % da adubação química permitiu economia de fertilizante sem perda de produtividade.

MARTINEZ et al. (2001) encontrou produtividade de cabeças de couve-flor semelhante, e estatisticamente superiores à testemunha sem fertilização, quando aplicou fertilizante, 4 ou 8 t M.S./ha de lodo de esgoto desaguado. Quando aplicou 8 t M.S. / ha de lodo líquido a produtividade foi estatisticamente superior a todos os outros tratamentos.

Em casa-de-vegetação, OLIVEIRA et al. (1995) avaliaram o efeito da aplicação de diferentes doses de lodo de esgoto (0, 5, 10 e 20 ton/ha), complementadas ou não com N e/ou K, no cultivo de sorgo granífero, podendo observar que adubação com lodo promoveu um aumento de matéria seca, mas para atender à necessidade da cultura fez-se necessária a complementação com adubação potássica.

DE FELIPO et al (1991) observou aumentos proporcionais da produção de matéria de seca de sorgo (37 dias) em solos tratados com lodo de indústria siderúrgica tanto em solo Latossolo Vermelho-amarelo quanto em Latossolo vermelho escuro em casa de vegetação. Mesmo com a correção do solo verificou ainda aumento nos teores de Fe, Mn, Zn e Cu na parte aérea das plantas.

COSTA et al. (2001), avaliando o efeito da adubação da cultura do mamoeiro com diferentes dosagens de lodo higienizado e não higienizado aplicados em cova, em solo franco-arenoso do tabuleiro costeiro do Espírito Santo, encontrou produtividade proporcional as dosagens aplicadas, e respostas melhores com lodo caleado. O desenvolvimento radicular das plantas também foi mais pronunciado nas covas com lodo caleado. O tratamento químico, mesmo recebendo as mesmas quantidades de nutrientes que os tratamentos com lodo, não apresentou diferença de produtividade em relação ao tratamento testemunha, sem aplicação de fertilizantes.

LUCCHESI (1997) trabalhando com horizonte B de Latossolos do Paraná em casa de vegetação verificou produção de matéria seca de azevém e aveia muito maiores quando adicionou *N-Viro Soil* e Composto de lodo aos potes cultivados.

3.4. ASPECTOS ECONÔMICOS DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO

Do ponto de vista econômico, a reciclagem agrícola tem o grande benefício de transformar um resíduo em um importante insumo agrícola, trazendo ainda vantagens indiretas ao homem e ao meio ambiente (USEPA, 1979).

CANZIANI et al. (1999) quantificou o custo total para o uso agrícola do lodo de esgoto através de um estudo de caso, onde chegou-se a um valor de R\$ 14,88 por

tonelada de lodo aeróbio digerido disposto em solos agrícola. Desse total, os maiores custos são pela ordem:; tratamento por calagem R\$ 7,40/t; transporte R\$ 6,00/t distribuição na lavoura R\$ 0,81/t e incorporação no solo R\$ 0,67/t.

Neste estudo, porém foram considerados apenas os custos de processamento (caleação), transporte do lodo do pátio da ETE até as propriedades agrícolas e incorporação ao solo, quando os procedimentos associados a um programa de reciclagem incluem ainda coleta e análise de amostras, identificação e cadastro de produtores, recomendação agrônômica e assistência técnica ao agricultor beneficiado, gerenciamento da atividade e monitoramento ambiental segundo os padrões normativos (ANDREOLI et al., 2000).

ROCHA (1998) determinou o custo da aplicação agrícola do lodo de esgoto na região de Limeira, no Estado de São Paulo. Baseando-se em um modelo de aplicação agrícola norte americano (USEPA, 1997), o custo total de capital para a disposição de 2.744 toneladas de lodo seco ao solo por ano foi de R\$ 454.973,68, enquanto o custo de manutenção e operação foi de R\$ 70.575,15 por ano. O custo por tonelada de sólidos secos foi de R\$ 42,30, bem abaixo dos custos para disposição em aterros (R\$ 46,15 por tonelada de lodo úmido - 25 a 30 % de M.S.) e dos custos de incineração (R\$ 1,00 a R\$ 2,00 por kg de cinzas produzido), mostrando-se com isto maior viabilidade econômica da disposição agrícola em relação a estas alternativas. Porém, esta comparação deve ser feita com certa cautela, uma vez que, algumas variáveis não foram levadas em consideração, como por exemplo: o custo de transporte.

Segundo MENDES (1981), o uso agrícola do lodo de esgoto na forma líquida (até 4% de sólidos) só é economicamente viável num pequeno raio de apenas um quilometro da Estação de Tratamento, sendo que a partir desta distância o uso do lodo seco é mais vantajoso.

O custo de transporte é um dos fatores de maior influência sobre os ônus da reciclagem. As limitações deste fator se estendem desde dificuldades relacionadas à natureza física do produto, com alto teor de umidade e resultando em grandes volumes

de transporte, até a dificuldade de manuseio, aparência e necessidade de precauções durante o transporte. Além do volume, a distância, o tipo de veículo, as condições das estradas e o modo de carregamento do produto influenciam o custo de transporte a nível local (CANZIANI et al, 1999).

A umidade está diretamente relacionada com o volume de lodo a transportar, e, conseqüentemente, com os custos do deslocamento. O volume de material a ser aplicado numa gleba agrícola de 1 ha, considerando a taxa de aplicação de 6 toneladas de matéria seca por hectare, pode variar de 15 a 75 m³, respectivamente para lodo com 60 e 90 % de umidade (ANDREOLI et al., 2001).

Estudo de CANZIANI et al. (1999) a partir dos resultados de experimento com a cultura de milho, demonstrou que a utilização de 30 toneladas úmidas de lodo calcado por hectare (100% da demanda de N), considerando a disponibilidade de 50 % do NPK contido no material para as plantas, haveria ganho econômico de 37,41 R\$/ha, mesmo com o maior custo operacional da aplicação do material.

3.5. ACEITABILIDADE: ENVOLVIMENTO DE AGRICULTORES E CONSUMIDORES

Independente da modalidade de disposição final do lodo de esgoto adotada, a participação pública é fundamental para o sucesso do programa; em especial se a forma de disposição escolhida afetar diretamente ou indiretamente a população ao redor (ROCHA, 1998).

USEPA (1997) salienta que um ponto crítico no estabelecimento de um programa de utilização de LE na agricultura é a participação das comunidades locais desde o início da discussão do projeto, passando por todas as suas fases. Seu estudo apresenta uma série de mecanismos para promover a participação pública. A escolha entre os diversos mecanismos irá depender das restrições monetárias e do tempo que o programa enfrenta e, em especial, dos objetivos a serem alcançados, uma vez que cada mecanismo possui limitações e vantagens. Como ressalva, o estudo sugere que haja

uma boa flexibilidade por parte da população e dos técnicos, a fim de acomodar diversos pontos de vistas e detalhes que irão surgir no decorrer da implantação do projeto.

A falta de posição do mercado e o desconhecimento de usuários e consumidores sobre os benefícios e riscos potenciais constituem pontos fortes para articulação de estratégias de divulgação e abertura de mercado. É comum a existência de preconceitos em relação ao uso do lodo, e, portanto, os trabalhos de marketing e divulgação merecem destaque especial e devem ser considerados desde o início do projeto (ANDREOLI et al. 2001).

ALBRECHT (1984) apresenta algumas observações baseadas em sua experiência empírica que podem ser assim resumidas: 1 – informação pública não significa consentimento, às vezes, quanto maior o nível de informação, maior será a tendência das pessoas em votar contra o projeto; 2 – honestidade é essencial, enquanto que detalhamento completo não é: muitas vezes é preferível simplesmente admitir que existem falhas a serem resolvidas do que tentar detalhar em mínimos detalhes os pontos favoráveis do projeto; 3 – é importante acentuar sempre os aspectos positivos e nunca esconder os aspectos negativos; 4 – é necessário respeitar os cronogramas, evitando atrasos; 5 – é preciso envolver individualmente as pessoas ao projeto: só assim elas se sentirão afetadas e darão uma contribuição efetiva; 7 – nunca menosprezar o cidadão isolado; 8 – algumas pessoas nunca serão convencidas: o melhor a fazer é isolá-las.

No caso específico da utilização na agricultura, um ponto a ser trabalhado para a aceitação da disposição final do lodo de esgoto é o conflito que existe entre campo e cidade (ROCHA, 1998). Muitas pessoas não são contra o lodo de esgoto, mas não concordam com a disposição de resíduos gerados nas cidades e lançados nas áreas rurais, somente através da educação é que se consegue a aceitação pública (SOPPER, 1993).

ROCHA (1998) entrevistando diversos agricultores da região de Limeira (interior de São Paulo) e constatou que a grande maioria já tinha utilizado algum tipo de

resíduo, buscando, com isto, alternativas economicamente viáveis à adubação convencional. Estes agricultores estavam preocupados com os custos de aplicação e de retorno sobre as culturas, ou seja, implicações econômicas a curto prazo, do ponto de vista privado. Por haver uma falta de conhecimento sobre o lodo de esgoto, muitos dos agricultores não souberam identificar quais seriam os riscos da utilização do resíduo, ficando, com isto, suscetíveis a falsas interpretações e manipulações contrárias ou favoráveis à utilização do lodo.

A opinião de técnicos e a experiência de vizinhos são fatores clássicos utilizados freqüentemente pelos órgãos de extensão rural na divulgação de novas tecnologias a produtores rurais. BOTTEGA e NASCIMENTO (1999) trabalharam a resistência dos agricultores ao lodo através de Dias de Campo. Nestes dias os técnicos envolvidos esclareciam os produtores com informações sobre o processo de produção, de tratamento e higienização do lodo e convidavam os produtores a verificar os efeitos do lodo em experimentos conduzidos na área em questão. Assim foram conquistadas a confiança e aceitabilidade de alguns agricultores que concordaram e realizar experimento e divulgar os resultados, disseminando a informação pela população e auxiliando nos processos de divulgação e marketing.

ANDREOLI (1999) avaliando os fatores com maiores reflexos sobre a aceitação do uso de lodo na agricultura na Região Metropolitana de Curitiba, conclui que por parte dos consumidores é o receio de contaminação com patógenos, enquanto pelo produtor foi o nojo e o odor.

Avaliando os principais fatores que levariam os consumidores a adquirir produtos cultivados com lodo, ANDREOLI (1999) identificou a garantia de qualidade, com mais de 75% das respostas, como o fator mais importante para estas pessoas. Para os agricultores, porém o principal fator foi o retorno econômico, confirmando as observações de ROCHA (1998) e FORST (1994), seguido de orientação técnica e experiência de vizinhos. Estes fatores são clássicos em extensão rural, e utilizados com grande intensidade por empresas e comerciantes de defensivos e fertilizantes no meio rural.

ANDREOLI (1999) observou ainda que quanto maior o nível de escolaridade maior o índice de rejeição e que a informação adequada é o fator que melhor se reflete sobre os índices de aceitabilidade e rejeição. Corroborando com FORST (1994), que considera indispensável o trabalho de extensão, realizando campanhas para mostrar os benefícios que os biofertilizantes podem trazer à comunidade

O sucesso de qualquer programa de reciclagem, segundo ANDREOLI e PEGORINI (2000), está associado ao reconhecimento, tanto de agricultores como de consumidores, dos efeitos benéficos do lodo e que os riscos associados ao seu uso controlado não são maiores que aqueles associados ao uso de outros insumos, de uso corriqueiro na agricultura. E, portanto, a reciclagem exige a produção de um insumo de qualidade assegurada, garantindo a adequação do material ao uso agrícola, definindo restrições de uso aos solos e apresentando alternativas tecnológicas que potencializem maior rentabilidade aos produtores.

3.6. LEGISLAÇÃO

Em termos globais, as exigências legais para a reciclagem de biofertilizantes na agricultura tem abordado de forma integrada: condições mínimas das áreas de aplicação e os critérios de tratamento, transporte, armazenamento e aplicação aos solos de lodos brutos ou tratados. Mesclam-se assim, exigências relativas às diferentes etapas do processo de valorização agrícola do lodo, desde a geração e tratamento do produto ao nível da ETE até especificações segundo as condições do ambiente, forma de aplicação e monitoramentos complementares (BONNET, 1995; LARA et al., 1999; ANDREOLI e PEGORINI, 1999).

Embora a valorização agrícola do lodo seja crescente no mundo toda, e em especial nos EUA e CEE, as normatizações nestas regiões apresentam grandes contrastes em função da abordagem utilizada na avaliação de riscos da atividade. No entanto são bastante coerentes com relação aos fatores controlados. Os parâmetros enfatizados mundialmente tem sido (USEPA, 1997; EPS, 1984; EU86/278/EEC;

SANTOS, 2001; BUNDGAARD E SAAYBE, 1992):

- a) Qualidade do lodo de esgoto: conteúdo de nutrientes, conteúdo de poluentes (metais pesados e compostos orgânicos), redução de patógenos
- b) Quantidade máxima de poluentes que pode ser aplicada nos solos
- c) Limitações para a área de aplicação: declividade, culturas, proximidade a corpos d'água; épocas de aplicação
- d) Dosagens de aplicação: baseadas na necessidade agronômica ou alterações de características do solo.
- e) Instruções de manejo do resíduo
- f) Monitoramento

Segundo SANTOS (2001) há uma tendência mundial na exigência pelas normatizações de maiores níveis de qualidade para sua reciclagem agrícola, o que se refletirá em menor contaminação dos biossólidos produzidos. Esta tendência responde parcialmente às pressões ambientais, que em muitos locais questionam a prática de reciclagem agrícola e exigem maior garantia de segurança da prática.

3.6.1. Normatização Brasileira

O Brasil ainda não apresenta uma legislação específica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. Porém, existe uma série de leis e normas que devem ser respeitadas. Dentro das diretrizes nacionais, o universo dos resíduos é passível de uma classificação de acordo com as normas da ABNT. No entanto, as Normas Brasileiras nem sempre são suficientes ou adequadas ao trabalho em questão.

A NBR-10.004 de setembro de 1987, classifica os resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública em três classes: Classe I : Resíduos perigosos; Classe II: Resíduos não inertes; e Classe III: Resíduos inertes. Os resíduos Classe I (perigosos) são caracterizados por inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade. Os resíduos Classe III (inerte) são aqueles que em contato com a água não solubilizam qualquer de seus componentes. Como

exemplo destes materiais pode-se citar : tijolos, rochas, vidros, certos plásticos e borrachas não decompostos prontamente. E os resíduos Classe II (não inertes) são aqueles não se enquadram nas classificações I e III, podendo apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em água.

Alguns exemplos de resíduos que se enquadram nas diferentes classes segundo a ABNT são:

- Classe III: plásticos, minerais insolúveis-borras, metais, peças usadas;
- Classe II: lodo de ETE e ETA, papel, restos de alimentos; e
- Mistura de Classe I e II (resíduos de limpeza da rede coletora, material sobrenadante, resíduos do tratamento preliminar)

No caso dos lodos de ETE, em condições usuais, são classificados como resíduos Classe II (não inertes). Podendo, quando muito contaminados com metais pesados se enquadrar como Classe I.

Outras normatizações são aplicáveis tratando-se de lodo de esgoto não destinado à agricultura: NBR 10.005 - Lixiviação de resíduos; NBR 10.006 - Solubilização de resíduos; NBR 10.007 - Amostragem de resíduos; NBR 12.988 - Líquidos livres- Verificação em amostras de resíduos; NBR 8849 - Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos; NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos; NBR 12.235 - Armazenamento de resíduos sólidos perigosos; NBR 11.174 - Armazenamento de resíduos classe II, não inertes e classe III, inertes PN 01: 603.06.006 - Critérios para projetos , implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos.

Apesar da falta de uma legislação específica, o lodo de esgoto produzido no Brasil já vem sendo utilizado na agricultura. A fim de suprir esta lacuna e garantir que as formas para a disposição atualmente utilizadas não venham a prejudicar o meio ambiente e o homem, vários Estados vêm desenvolvendo uma proposta de legislação específica à nível regional, para a utilização agrícola do lodo de esgoto (SANTOS et al., 2001).

3.6.2. Instrução Normativa para a Reciclagem Agrícola de Biossólidos da SANEPAR

Esta norma é o principal produto de um ciclo de dez anos de pesquisa desenvolvidas no âmbito do PROJETO INTERDISCIPLINAR PARA DESENVOLVIMENTO DE CRITÉRIOS SANITÁRIOS, AGRONÔMICOS E AMBIENTAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO, e estabelece critérios para a utilização do lodo de esgoto como condicionador do solo ou fertilizante agrícola assegurando a proteção da saúde pública e do meio ambiente (FERNANDES et al., 1999).

Esta Norma define critérios básicos para um programa de reciclagem agrícola de lodo, da produção do biossólido à sua incorporação no solo, definindo parâmetros e restringindo a aplicação em áreas onde a saúde humana e animal possam ser submetidos a riscos desnecessários, bem como a degradação ambiental minimizada.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho analisa o programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto em operação na RMC em duas fases:

1ª Fase: Caracterização e avaliação do programa com base em parâmetros de controle gerencial: esta etapa foi efetuada com base nos relatórios e levantamento de dados operacionais com a SANEPAR.

2ª Fase: Foram avaliados os impactos da utilização do lodo em três áreas agrícolas da RMC: os parâmetros utilizados nesta avaliação foram fertilidade dos solos e metais pesados.

4.1. AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE RECICLAGEM

Para caracterização e avaliação do programa de reciclagem agrícola, compartimentou-se o fluxo operacional da atividade, atribuindo-se indicadores para controle e análise. O modelo de segmentação utilizado, bem como os indicadores são apresentados na tabela 20.

TABELA 20. FLUXO OPERACIONAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM DO LODO DE ESGOTO DA ETE BELÉM E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO EMPREGADOS.

| Nível de Operação | Parâmetros de controle |
|---------------------------------|---|
| 1. Produção de lodo em Curitiba | Sistemas em operação Estimativa da produção de lodo Produção atual de lodo Processamento do lodo |
| 2. Disposição final do lodo | Alternativas de destinação final atualmente empregadas |
| 3. Reciclagem agrícola | |
| 3.1. Processamento do lodo | Procedimento de higienização: caleação (mistura lodo-cal) e período de contato |
| 3.2. Caracterização do lodo | Potencial agrônomico Controle sanitário Contaminação química (metais) |
| 3.2. Recomendação de utilização | Culturas empregadas Volume aplicado: M.S. e N Carga de metais adicionada ao solo |
| 3.3. Áreas de aplicação | Aptidão das terras Caracterização química dos solos utilizados |

TABELA 20 (CONT.). FLUXO OPERACIONAL DO PROCESSO DE RECICLAGEM DO LODO DE ESGOTO DA ETE BELÉM E PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO EMPREGADOS.

| | |
|---------------------|--|
| 3.4. Aceitabilidade | Caracterização dos produtores Manejo do lodo Principais entraves identificados na utilização do lodo Vantagens observadas Perspectivas dos agricultores quanto à utilização do lodo Relação custo benefício |
|---------------------|--|

4.1.1. Produção, Processamento e Disposição final de lodo em Curitiba

Para caracterizar a produção de lodo atual em Curitiba e estimar os problemas potenciais da disposição do lodo foram obtidas informações sobre os sistemas de tratamento e as modalidades de disposição final utilizadas. Os dados levantados foram obtidos nos projetos dos sistemas e de informações levantadas em campo e consistiram das seguintes informações:

- a) População prevista em projeto e atual (não disponível na maioria das ETEs)
- b) Tipo de tratamento
- c) Vazão de Projeto
- d) Regime de operação
- e) Dimensões
- f) Produção real de lodo (não disponível na maioria das ETEs)
- g) Gerenciamento do lodo: estabilização, desaguamento, processamento e estocagem
- h) Disposição final do lodo

Estas informações foram obtidas junto à Gerencia do Grupo Específico de Consultoria, Intercâmbio e Pesquisa (GECIP) da SANEPAR, à USOECT da SANEPAR e a EMPRESA ENVITEC Saneamento Ambiental LTDA. - responsável pela operacionalização da reciclagem do lodo em Curitiba - e ao IBGE.

O cálculo da estimativa teórica de produção de lodo em Curitiba foi baseado na metodologia de balanço de massa, que para o processo de tratamento anaeróbio em regime de operação adequado, espera-se produção diária de 15 g/hab, em base

seca (GONÇALVES e SPERLING, 2001). Para as ETEs com processo de tratamento através de aeração prolongada, a metodologia estima uma produção diária per capita de 45 g (GONÇALVES e SPERLING, 2001).

A produção real só foi obtida para a ETE Belém e foi mensurada através da produção volumétrica de lodo processado pelas prensas desaguadoras da estação.

Com base nestes levantamentos foram realizadas as seguintes avaliações:

- a) Estimativa de produção de lodo em função da capacidade de tratamento instalada atualmente na cidade: o problema que nos espera.
- b) Eficiência dos sistemas onde a produção atual foi informada (produção teórica x produção atual).
- c) Compatibilidade das tecnologias de processamento empregadas com as alternativas de disposição final.

4.1.2. Avaliação da qualidade do lodo disponibilizado aos agricultores

Foram avaliados todos os resultados de análises químicas e biológicas efetuados nos lotes de lodo aplicados na agricultura entre setembro de 2000 e março de 2002. O controle de qualidade, efetuado em acordo com as diretrizes estabelecidas no processo de autorização ambiental para operação concedido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), caracterizou os lotes de lodo quanto ao potencial agrônomo, sanidade e metais pesados. Na tabela 21 estão dispostos os parâmetros definidos para caracterização dos lotes.

TABELA 21. PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO

| Análise e Monitoramento | Parâmetros |
|------------------------------|---|
| Qualidade agrônômica do lodo | pH, % H ₂ O, %C, %N, %P, %K, %Ca, %Mg, C/N e Teor de sólidos fixos |
| Metais pesados no lodo | Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr |
| Microbiologia do lodo | Contagem e viabilidade de ovos de helmintos Coliformes fecais |

As amostragens de determinação da qualidade agrônômica foram compostas a partir de 9 sub-amostras coletadas em lotes de 100 toneladas (M.S.), seguindo as exigências do IAP. A caracterização sanitária e de metais foi realizada a partir de

amostragem composta de 9 pontos coletados na camada superficial, mediana e profunda de lotes de no máximo 400 t M.S. (grupo de 4 lotes de 100 t M.S.). As amostras são acondicionadas em sacos plásticos identificados e enviados aos laboratórios para análise. As amostras destinadas às avaliações microbiológica e parasitária (sanidade) são acondicionadas em sacos plásticos estéreis e conservadas em gelo (aproximadamente 4°C) até a entrada nos respectivos laboratórios.

As análises de qualidade agrônômica dos lotes foram realizadas pelo Laboratório de Solos da Pontificia Universidade Católica do Paraná (PUC-Pr), seguindo metodologia para análise de solo (EMBRAPA, 1979).

A concentração de metais pesados foi realizada no laboratório de análises ambientais do TECPAR, no IAPAR e SENAI /CETSAN. A extração foi realizada por via úmida (ácido nítrico 1 Mol/L) em digestor por microondas (USEPA 3050B), e a quantificação por espectrometria de emissão atômica, conforme THOMPSON e WALSH (1989). A quantificação do mercúrio foi realizada por espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio conforme SHIMADZU CORPORATION (1992).

A caracterização sanitária foi realizada nos seguintes laboratórios:

- a) Contagem e viabilidade de ovos de helmintos: Laboratório de patologia da UFPR, de acordo com a metodologia proposta por YANKO (1987) adaptada por THOMAZ-SOCCOL e PAULINO (2000).
- b) Coliformes fecais: Laboratório de microbiologia da UEL (até o quarto lote) e Laboratório do SENAI - CETSAM (do quinto lote em diante). Em ambas as instituições a metodologia empregada foi Tubos Múltiplos de Fermentação (SANEPAR, 1998)

Os resultados analíticos permitiram as seguintes avaliações:

- a) comparação da qualidade do lodo reciclado com o histórico de contaminação e qualidade do lodo produzido na ETE.
- b) comparação com os níveis de contaminação em outras ETES e com outros resíduos orgânicos utilizados na agricultura.

- c) Comparação com os parâmetros qualitativos preconizados pelo IAP e legislações internacionais.
- d) Eficiência operacional do sistema de higienização empregado
- e) Identificação de parasitos resistentes ao processo de desinfecção utilizado.

4.1.3. Caracterização das práticas de uso e manejo e das propriedades onde o lodo foi aplicado

Foram levantados junto à ENVITEC e a EMATER os cadastros dos 32 agricultores que utilizaram lodo entre setembro de 2000 e março de 2002, bem como as fichas de recomendação agrônômica de uso de cada gleba onde foi aplicado lodo.

Com o levantamento nos laudos técnicos procurou-se dados que fornecessem características gerais do programa de reciclagem, como:

- a) Localização das propriedades
- b) Espécies cultivadas nos solos adubados com lodo.
- c) Taxas de aplicação utilizadas
- d) Aptidão das terras onde o lodo foi aplicado
- e) Complementação mineral recomendada

Estes dados foram tabulados e organizados em planilhas do programa computacional Microsoft Excel 5.0. Os resultados foram analisados visando caracterizar o programa e as áreas onde o lodo foi aplicado quanto a potenciais riscos que a atividade possa estar proporcionando. Com base neste levantamento foram realizadas as seguintes avaliações:

- a) Potencial das espécies cultivadas quanto ao uso do lodo: evidenciando vantagens e riscos oferecidos.
- b) Taxas de aplicação de lodo empregadas quanto a potenciais riscos, especialmente o volume de N aplicado aos solos.
- c) Riscos proporcionados pela carga de metais aplicada aos solos e

comparação com limites internacionais

- d) Fatores limitantes a aplicação do lodo nas áreas selecionadas
- e) Condições de uso e manejo dos solos onde o lodo tem sido aplicado, proporcionando informações importantes quanto aos objetivos com o lodo vem sendo utilizado.

As coletas de solos para análise de rotina foram efetuadas pelos agrônomos e técnicos da EMATER-PR e as análises realizadas pelo laboratório de solos da PUC-PR. Os métodos de análise são descritos na tabela 22.

TABELA 22. METODOLOGIAS DE ANÁLISE EMPREGADAS PELO LABORATÓRIO DA PUC-PR

| Parâmetro/Elemento | Metodologia | Métodos |
|---|----------------------|---|
| pH | PAVAN et al., 1992 | CaCl ₂ 0,01M |
| Alumínio trocável (Al ⁺³) | PAVAN et al., 1992 | Extração KCl 1N e titulação em NaOH |
| Acidez potencial (H ⁺ + Al ⁺³) | PAVAN et al., 1992 | Potenciometria com sol. Tampão SMP |
| Cálcio e Magnésio trocáveis | PAVAN et al., 1992 | Extração KCl 1N + EAA + La(NO ₃) ₃ |
| Potássio trocável (K ⁺) | PAVAN et al., 1992 | Mehlich - I |
| Fósforo solúvel (P) | PAVAN et al., 1992 | Mehlich - I |
| Carbono Orgânico | RAIJ e QUAGGIO, 1983 | Método colorimétrico |

4.1.4. Caracterização dos produtores e aceitabilidade

O contexto socio-econômico, a aceitabilidade, os fatores de resistência e as perspectivas quanto ao potencial do lodo na RMC foi avaliada através de levantamento entre os agricultores que adquiriram lodo do programa de reciclagem. O diagnóstico foi realizado através do cadastro dos produtores pela EMATER e ENVITEC e questionário semi-estruturado e aberto (ANEXO I) aplicado em 16 dos 27 produtores que receberam lodo entre setembro de 2000 e dezembro de 2002.

Alguns produtores foram caracterizados apenas em função de seu cadastro, uma vez que a aplicação do questionário não foi possível, devido a problema de distância e/ou disponibilidade do produtor.

As informações obtidas com os cadastros e questionários foram tabulados e avaliados procurando-se identificar as características dos agricultores interessados em aplicar utilizar o insumo: grau de escolaridade, área cultivada, sistema de uso da terra,

técnicas de cultivo e fertilização empregadas.

Os dados tabulados permitiram ainda as seguintes avaliações:

- a) eficiência das modalidades de divulgação utilizadas pelo programa;
- b) problemas e empecilhos apontados pelos agricultores para a distribuição e manipulação do lodo nas propriedades;
- c) relação com os vizinhos e importância deste fator na divulgação;
- d) vantagens do uso do lodo segundo os produtores (parâmetros que podem ser utilizados em programas de divulgação);
- e) sugestões para melhoria do programa;
- f) relação custo benefício com a utilização do lodo; e
- g) possibilidade de comercialização ou repasse de custos do programa aos agricultores (valor que os agricultores estariam dispostos a pagar para adquirir o lodo).

4.2. EFEITO DO LODO DE ESGOTO SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS E CONTEÚDO DE METAIS PESADOS DE TRÊS SOLOS DA RMC

Com base em características ambientais, edáficas e nas práticas de manejo utilizados pelos produtores que adquiriram lodo na RMC no ano de 2000, foram selecionadas três áreas com o objetivo de caracterizar e avaliar os efeitos da introdução do lodo de esgoto entre as práticas usuais de manejo e fertilização adotadas nestas áreas.

4.2.1. Localização e caracterização das áreas selecionadas

Foram selecionados três glebas, cultivadas por três agricultores distintos, e que caracterizassem o mais amplamente possível as condições ambientais e de manejo das áreas que estão sendo utilizadas para disposição de lodo na RMC. A tabela 23 resume as principais características das áreas selecionadas e do nível tecnológico empregado pelos agricultores.

TABELA 23. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS SELECIONADAS PARA AVALIAÇÃO DO EFEITO DO LODO NO SOLO E NÍVEL TECNOLÓGICO ADOTADO PELOS AGRICULTORES.

| Solo | Localização: Município | Material Geológico | Unidade de Solo | Nível Tecnológico | | | |
|------|---------------------------|--|--|-------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | | | Calagem | Fertilização | Rotação de Culturas | Sistema de Plantio |
| PVAd | Campo Largo | Migmatitos do Complexo Cristalino | Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura média / argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo ondulado substrato migmatitos | Quando disponível | Química para média produção | Monocultivo de Milho, algumas porções rotação com Feijão/ pousio | Plantio Convencional Aração e gradagem de nivelamento |
| CXbd | Araucária | Migmatitos do Complexo Cristalino | Cambissolo Háplico distrófico A moderado textura média relevo ondulado fase floresta subtropical perenifolia substrato migmatitos | Adequada | Química para alta produção | Milho / Feijão / Batata nem sempre em rotação | Plantio Convencional Aração/subsolagem Gradagens de nivelamento |
| LVAd | Fazenda Rio Grande | Argilito da Bacia Sedimentar de Curitiba | Latossolo Vermelho Amarelo distrófico A proeminente textura argilosa relevo suave ondulado substrato sedimentos pleistocênicos | Adequada | Orgânica, Fosfato de Rocha, Química | Monocultivo de grama | Escrificação / aração / enxada rotativa / Plantio em covas e Compactação |

O solo **CXbd** apresentava grande quantidade de cascalho em superfície, erosão laminar severa e sulcos superficiais ocasionais (LEPSCH et al., 1991). No solo **PVAd** verificou-se erosão laminar ligeira (LEPSCH et al., 1991).

Na gleba **LVAd** verificou-se erosão laminar ligeira (LEPSCH et al., 1991) nas porções onde já haviam sido colhidas leivas de grama. No restante da gleba não haviam sinais de erosão, observando-se, no entanto, grande depleção do horizonte A em toda a área, aflorando em algumas porções horizonte de transição. Esta verificação é consequência da forma de colheita da cultura da grama, que envolve a retirada de 3 a 5 cm de solo junto com as leivas colhidas.

Em relação à tecnologia empregada, o primeiro agricultor adota nível tecnológico mais baixo, com uso menos intensivo de práticas de correção do solo e adubação, enquanto o produtor 3 (solo **LVAd**) corrige o solo com frequência e pratica as maiores dosagens de fertilizantes. No solo **CXbd**, o produtor empregou correção e fertilização adequada para obtenção de produtividade alta.

A tabela 24 apresenta a caracterização química e granulométrica dos solos das três áreas.

TABELA 24. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DOS SOLOS AVALIADOS ANTES DA APLICAÇÃO DE LODO

| Área | pH | Al | H + Al | Ca | Mg | K | T | P | C | V | V2 | Areia | Silte | Argila |
|------|-------------------|-----------------------|--------|------|------|------|-------|--------------------|-------------------|-------|----|-------|-------|--------|
| | CaCl ₂ | Cmolc/dm ³ | | | | | | mg/dm ³ | g/dm ³ | % | % | % | % | % |
| PVAd | 5,36 | 0,20 | 3,20 | 4,27 | 1,75 | 0,15 | 9,37 | 5,20 | 11,20 | 65,85 | 80 | 39,61 | 27,81 | 32,58 |
| CXbd | 4,40 | 0,10 | 5,80 | 1,00 | 0,30 | 0,05 | 7,51 | 9,00 | 10,0 | 18,81 | 75 | 44,35 | 25,14 | 30,51 |
| LVAd | 4,83 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 0,38 | 16,79 | 43,9 | 39,5 | 52,35 | 70 | 18,82 | 18,20 | 62,98 |

4.2.2. Delineamento experimental e tratamentos

Cada um dos solos (PVAd, CXbd e LVAd) foi individualizado como um experimento independente, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e quatro repetições em cada uma delas.

Os tratamentos consistiram de três condições de uso: práticas usuais de fertilização do agricultor, práticas usuais com aplicação de lodo e área nativa (mata/capoeira em estágio avançado de regeneração). Os solos sob área nativa foram

adotados como parâmetro comparativo em função das avaliações de metais pesados, e procuram identificar a influência das condições de uso sobre o teor total destes elementos no solo.

Na tabela 25 são descritos os tratamentos e as práticas de fertilização utilizadas na condução das culturas nos três solos avaliados.

TABELA 25. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS AVALIADOS.

| Solo | Espécie cultivada | Tratamento | Adubação de base (ha) | Cobertura |
|-------------|-------------------|---------------|---|--------------|
| PVAd | Milho | Prática usual | 14-50-30 kg (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) | 60 kg N |
| | | Lodo | 14-50-30 kg (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) 6,27 t de M.S. de Lodo | - |
| | | Área nativa | - | - |
| CXbd | Milho | Prática usual | 4 t de calcário 16-60-40 kg (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) | 90 kg N |
| | | Lodo | 16-60-40 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)+ 44,94 t M.S. de Lodo | - |
| | | Área nativa | - | - |
| LVAd | Gramma | Prática usual | 5 m ³ cama de aviário 3 t calcário 1 t de fosfato de rocha | 720 kg N/ano |
| | | Lodo | 1 t de fosfato de rocha + 5,18 t M.S. de lodo | 720 kg N/ano |
| | | Área Nativa | | |

As quantidades de lodo foram definidas visando fornecer à cultura de milho doses adequadas de N segundo o manual IAPAR (1980). No solo **PVAd** a adubação Nitrogenada correspondeu a 60 Kg de N/ha, equivalente a uma lavoura de produtividade de 4 a 6 t de grãos de milho/ha.

No solo **CXbd** foi recomendada dosagem de 120 Kg N/ha, visando produtividade acima de 6 t de grão de milho/ha. Associado à alta dosagem recomendada, neste solo ocorreu falha na regulagem do equipamento de espalhamento que teve como consequência uma adição estimada de 1.200 kg de N total /ha, aproximadamente 600 Kg de N disponível (ANDREOLI et al., 2001).

No solo **LVAd** o lodo foi utilizado experimentalmente para produção de grama e aplicado em substituição à cama de aviário, normalmente utilizada como fertilizante orgânico pelo produtor. A taxa de aplicação correspondeu a aproximadamente 5,18 t MS de lodo /ha, complementada pela adubação mineral usual: 90 Kg de N a cada 35 dias no verão e 60 dias no inverno, totalizando em média 720

Kg de N/ano, aplicados na forma de uréia. A aplicação de calcário não seguiu recomendação técnica, utilizando-se em média 3.000 kg de calcário/ha a cada novo plantio (3 anos em média) praticados habitualmente pelo produtor. A área fertilizada com lodo não foi corrigida, apenas complementada com outros nutrientes e N durante o desenvolvimento.

4.2.3. Lodo Utilizado

As tabelas 26 e 27 apresentam a caracterização química dos lotes de lodo utilizados.

TABELA 26. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ESGOTO UTILIZADOS: PARÂMETROS AGRONÔMICOS.

| Área | pH CaCl ₂ | Umidade % | N | P | P ₂ O ₅ | K | K ₂ O | Ca | Mg |
|-----------------|-------------------------|--------------|------|------|-------------------------------|------|------------------|-------|------|
| % (g/100g M.S.) | | | | | | | | | |
| PVa | | 83,50 | 2,43 | 0,49 | 1,11 | 0,11 | 0,14 | | |
| CXbd | | 82,46 | 2,82 | 0,85 | 1,95 | 0,00 | 0,01 | 6,30 | 4,10 |
| LVAAd | 10,17 | 82,12 | 2,08 | 0,87 | 1,99 | 0,09 | 0,11 | 13,30 | 7,80 |

TABELA 27. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS LODOS DE ESGOTO UTILIZADOS: CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS

| Área | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| mg/kg | | | | | | | |
| PVad | <1,00 | 25,20 | 29,50 | 22,90 | 388,70 | 1,60 | 80,90 |
| CXbd | <0,50 | 13,21 | 39,52 | 21,84 | 311,44 | 1,51 | 61,46 |
| LVAAd | <2,00 | 22,80 | 31,70 | 35,80 | 427,00 | <0,20 | 79,00 |

4.2.4. Amostragens

Considerando as diferentes áreas experimentais, as amostras foram realizadas da seguinte maneira.

- em cada área experimental foram selecionadas as áreas de fertilização usual, aplicação do lodo e área nativa o mais próximo possível entre elas. As unidades com lodo e sem lodo sempre estiveram dispostas lado a lado de forma contígua, enquanto as áreas sob condições nativas algumas vezes estiveram mais distantes.
- As amostras de caracterização das áreas foram coletadas antes da aplicação do lodo. Esta amostragem foi realizada pelos técnicos

responsáveis pela seleção das propriedades para aplicação de lodo: técnicos da EMATER (solos PVAd e CXbd) e da ENVITEC (solo LVAd).

- c) As amostragens para avaliação dos efeitos dos tratamentos sobre as propriedades químicas dos solos foram efetuadas em março de 2002, no estágio de maturação fisiológica das lavouras de milho implantadas nos solos **PVAd** e **CXbd**. No solo **LVAd** já haviam sido colhidas parte das leivas de grama.
- d) Os solos foram divididos em unidades amostrais segundo os tratamentos utilizados: lodo, sem lodo e área nativa.
- e) Em cada unidade amostral foram selecionadas 4 parcelas de dimensões médias de 4 m x 4 m, procurando caracterizar homogeneamente as glebas. As unidades amostrais foram tomadas respeitando-se uma distância mínima de 20 m de estradas de tráfego intenso e as amostras coletadas com trado holandês, evitando-se a raspagem para não ocorrer contaminação das amostras
- f) De cada uma das parcelas foram coletadas 4 amostras simples de duas profundidades (0 a 20 cm e 20 a 40 cm), procurando caracterizar os efeitos dos tratamentos à profundidade média de incorporação e em sub-superfície.

A tabela 28 resume os procedimentos utilizados na definição das áreas experimentais e do processo de amostragem.

TABELA 28. PROCESSO DE AMOSTRAGEM UTILIZADO.

| Unidade Experimental | Tratamentos | Parcelas | | | | Total de amostras |
|-----------------------------|--------------------|----------|-----------|------------------|----------------|-------------------|
| | | Número | Dimensões | Amostras | Estratificação | |
| PVAd | fertilização usual | 4 | 4 x 4 | 2 | 0 a 20 cm | 8 |
| | Lodo | 4 | | (estratificadas) | 20 a 40 cm | 8 |
| | área nativa | 4 | | | | 8 |
| CXbd | fertilização usual | 4 | 4 x 4 | 2 | 0 a 20 cm | 8 |
| | lodo | 4 | | (estratificadas) | 20 a 40 cm | 8 |
| | área nativa | 4 | | | | 8 |
| LVAd | fertilização usual | 4 | 4 x 4 | 2 | 0 a 20 cm | 8 |
| | lodo | 4 | | (estratificadas) | 20 a 40 cm | 8 |
| | área nativa | 4 | | | | 8 |
| Total de amostras coletadas | | | | | | 72 |

4.2.5. Avaliações Efetuadas

4.2.5.1. Análise de Fertilidade

As amostras de solo de superfície foram caracterizadas quanto ao pH CaCl_2 , alumínio trocável, acidez potencial, cálcio, magnésio, potássio, fósforo, carbono no Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná, segundo metodologia modificada de PAVAN et al. (1992). A CTC foi obtida pelo somatório dos teores de Ca, Mg, K e H^+Al .

4.2.5.2. Análise Granulométrica

A análise granulométrica das amostras de solo (frações areia, silte e argila) foi realizada no Laboratório de Solos da PUC-Pr, segundo metodologia da EMBRAPA (1979). Os resultados desta análise foram utilizados para a classificação dos solos.

4.2.5.3. Análise do teor total de metais pesados

Os metais pesados analisados foram: Cádmio, Cromo, Chumbo, Cobre, Níquel, Zinco e Mercúrio. As análises foram realizadas no laboratório LAKEFIELD GEOSOL LTDA, certificado pelo INMETRO, ABS "quality evaluation" e "Dutch

Council". A metodologia utilizada foi digestão úmida com os seguintes procedimentos:

- a) Pesar 0,5 gramas da amostra, e transferir para um béquer de 100 ml.
- b) Adicionar 5 ml de ácido nítrico, levar a chapa elétrica até secar.
- c) Adicionar 20 ml de ácido clorídrico, 1.0 ml de ácido nítrico e 1.0 ml de ácido perclórico e leva a chapa elétrica até secar, repetir processo mais uma vez.
- d) Retomar com água régia 10%, adicionando 20 ml deixar abrir e reduzir até o volume chegar a 10 ml
- e) Transferir para tubo de ensaio de 25 ml e aferir com água régia 10%.

E a determinação através de ICP, exceto para o mercúrio, que foi determinado através de geração de vapor frio e absorção atômica. O limite de detecção do método é de 3 ppm para Cd, Cr, Cu, Ni e Zn; 8 ppm para Pb e 50 ppb para Hg.

4.2.5.4. Análise estatística

4.2.5.4.1. Análise estatística dos resultados de fertilidade dos solos

O efeito das condições de uso das áreas foi avaliado independentemente para cada solo, através de análise de variância (Fischer - teste) para o modelo matemático inteiramente casualizado e comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 1 e 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa estatístico MSTAT.

Considerou-se como nível mínimo para rejeição das hipóteses 5%, ou seja, sempre que o valor da probabilidade do teste de Tukey for menor ou igual a 0,05 ($\alpha \leq 0,05$) não se rejeita que há diferença significativa entre as médias de tratamentos e/ou aplicações, procedendo-se então o detalhamento da análise.

4.2.5.4.2. Análise estatística dos resultados de metais pesados nos solos

Com a finalidade de melhor interpretar os resultados e identificar fontes específicas de variação, utilizado o arranjo estatístico de parcelas sub-divididas; tendo como tratamento principal (fator A) as condições de uso (área nativa, área cultivada sem aplicação de lodo e área cultivada com aplicação de lodo) e como tratamento secundário a profundidade (fator B), onde foram estabelecidos, três níveis específicos de comparação (desdobramentos):

- a) **nível 1**- comparação entre médias do fator condições de (fator A)
- b) **nível 2** – comparação entre médias de profundidade (fator B);
- c) **nível 3** – interação entre fator A e B;

A análise de variância foi realizada com auxílio do programa estatístico MSTAT através de teste com 1% e 5% de significância (F-teste-Fischer). Como teste comparativo de médias foi utilizado o teste de Tukey (5% de probabilidade),

Este nível de detalhamento do teste Tukey possibilita verificar e identificar variações específicas proporcionadas por quaisquer que sejam os fatores causadores; diferentemente dos testes comparativos de médias convencionais, onde não há essa possibilidade. Considerou-se como nível mínimo para rejeição das hipóteses 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PRODUÇÃO DE LODO EM CURITIBA

A cidade de Curitiba apresenta uma população total estimada em 1.584.232 habitantes (IBGE,2000). Atualmente cerca de 60% desta população é atendida pelos serviços de coleta e 48% com coleta e tratamento de esgoto, gerando uma expectativa de produção de lodo de 120 t(15 a 20% M.S.) diariamente

Os serviços de coleta e tratamento de esgoto da cidade são operados pela Unidade de Serviços e Operação de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba (USOECT), da SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Estão sob responsabilidade desta unidade 52 estações de tratamento de esgoto (ETEs), localizadas nos municípios de Curitiba (45 ETEs), Araucária (4 ETEs), São José dos Pinhais (2 ETEs) e Colombo (1 ETE).

Na tabela 29 são descritas as principais características das ETEs em operação atualmente em Curitiba, e a perspectiva teórica de produção de lodo em capacidade máxima.

TABELA 29. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM OPERAÇÃO ATUALMENTE EM CURITIBA E ESTIMATIVA TEÓRICA DA PRODUÇÃO DE LODO.

| Total | ETE | População de Projeto | Vazão de Projeto | Sistema de | Área | Corpo Receptor | Produção lodo |
|-------|-------------------|----------------------|------------------|------------|--------|-----------------|--------------------------|
| | | (habitantes) | (l/s) | Tratamento | (m2) | | (Kg SS/dia) ¹ |
| | Juliana Liz | 255,00 | 0,44 | Anaeróbio | 7,00 | Capão Raso | 3,83 |
| | Lisboa | 295,00 | 0,42 | Anaeróbio | 322,00 | Passo dos Fraga | 4,43 |
| | Califórnia | 340,00 | 0,49 | Anaeróbio | 271,00 | | 5,10 |
| | Moradas da Cunha | 340,00 | 0,49 | Anaeróbio | 219,00 | Campo Comprido | 5,10 |
| | Barigui | 350,00 | 0,49 | Anaeróbio | 78,00 | Barigui | 5,25 |
| | Cintia Liz | 350,00 | 0,49 | Anaeróbio | 58,00 | Capão Raso | 5,25 |
| | Curitiba | 350,00 | 0,49 | Anaeróbio | 52,00 | Atuba | 5,25 |
| | Itacolomi | 375,00 | 0,56 | Anaeróbio | 332,00 | Muller | 5,63 |
| | Cotolengo II | 400,00 | 0,56 | Anaeróbio | 113,00 | Barigui | 6,00 |
| | Mal. Când. Rondon | 445,00 | 0,63 | Anaeróbio | 216,00 | Barigui | 6,68 |
| | Araucária II | 450,00 | 0,45 | Anaeróbio | 252,00 | Boa Vista | 6,75 |
| | Damasco | 460,00 | 0,63 | Anaeróbio | 203,00 | Boa Vista | 6,90 |
| | Capibaribe | 500,00 | 0,69 | Anaeróbio | 47,00 | Atuba | 7,50 |
| | Ilha do Sol | 655,00 | 2,73 | Anaeróbio | | | 9,83 |

TABELA 29 (CONTINUAÇÃO)

| To ta | ETE | População de Projeto (habitantes) | Vazão de Projeto (l/s) | Sistema de Tratamento | Área (m2) | Corpo Receptor | Produção lodo (Kg SS/dia) ¹ |
|---|----------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------|----------------|--|
| | Caiçaras | 770,00 | 1,94 | Anaeróbio | 139,00 | Barigui | 11,55 |
| | Aeté | 800,00 | 1,11 | Anaeróbio | 164,00 | Barigui | 12,00 |
| | Iguape | 800,00 | 0,42 | Anaeróbio | 68,00 | Capão raso | 12,00 |
| | Gralha Azul | 840,00 | 1,16 | Anaeróbio | 120,00 | Guairá | 12,60 |
| | Araçá | 850,00 | 1,18 | Anaeróbio | 771,00 | Padilha | 12,75 |
| | Bracatinga | 850,00 | 1,18 | Anaeróbio | 3.827,00 | Barigui | 12,75 |
| | Campos Elíseos | 850,00 | 1,65 | Anaeróbio | 235,00 | Padilha | 12,75 |
| | Ilha Verde | 850,00 | 2,21 | Anaeróbio | 217,00 | Campo Comprido | 12,75 |
| | Gonçalves Dias | 900,00 | 1,25 | Anaeróbio | 34,00 | Guaira | 13,50 |
| | Azaléia | 920,00 | 1,21 | Anaeróbio | 135,00 | Cercado | 13,80 |
| | Greenville | 960,00 | 1,33 | Anaeróbio | 80,00 | Capão raso | 14,40 |
| | Bel Terra | 1.000,00 | 1,39 | Anaeróbio | 127,00 | Campo Comprido | 15,00 |
| | Jerusalém | 1.000,00 | 1,39 | Anaeróbio | 210,00 | Atuba | 15,00 |
| 27 | Até 1000 habitantes | 16.955,00 | 26,98 | Anaeróbio | 6.127,00 | | 254,35 |
| | Girassol | 1.365,00 | 1,52 | Anaeróbio | 322,00 | Boa Vista | 20,48 |
| | Garças | 1.425,00 | 2,01 | Anaeróbio | 357,00 | Cercado | 21,38 |
| | Araucária I | 1.430,00 | 1,42 | Anaeróbio | 257,00 | Boa Vista | 21,45 |
| | Campo Comprido | 1.600,00 | 2,22 | Anaeróbio | | Barigui | 24,00 |
| | Ana Cecília | 1.840,00 | 2,63 | Anaeróbio | 186,00 | Barigui | 27,60 |
| | Açucena | 2.000,00 | 2,78 | Anaeróbio | 114,00 | Padilha | 30,00 |
| | Eucaliptos | 2.620,00 | 3,96 | Anaeróbio | 544,00 | Padilha | 39,30 |
| | Monte Verde | 3.000,00 | 4,53 | Anaeróbio | 2.523,00 | Barigui | 45,00 |
| | Cotolengo | 3.610,00 | 4,78 | Anaeróbio | 91,00 | Barigui | 54,15 |
| | Barbacena | 4.500,00 | 10,00 | Anaeróbio | | Barigui | 67,50 |
| | Flamboyant | 4.560,00 | 10,80 | Anaeróbio | 621,00 | Campo Comprido | 68,40 |
| | Marumbi | 7.500,00 | 10,42 | Anaeróbio | | Iguaçu | 112,50 |
| 12 | Até 10.000 hab. | 35.450,00 | 57,07 | Anaeróbio | 5.015,00 | | 531,76 |
| | Augusta | 13.395,00 | 30,00 | Anaeróbio | 850,00 | Muller | 200,93 |
| | Itatiaia | 18.150,00 | 25,00 | Anaeróbio | 3.000,00 | Muller | 272,25 |
| | Caiuá | 23.740,00 | 32,00 | Anaeróbio | 1.507,00 | Barigui | 356,10 |
| 3 | Até 100.000 hab | 55.285,00 | 87,00 | Anaeróbio | 5.357,00 | | 829,28 |
| | Santa Quitéria | 105.491,00 | | Anaeróbio | | Santa Quitéria | 1.582,37 |
| | Belém | 500.000,00 | 840,00 | Aeróbio | | Iguaçu | 16.900,00 ² |
| | Atuba | 568.000,00 | 1.450,00 | Anaeróbio | 7.056,00 | Atuba | 8.520,00 |
| 3 | Mais 100 mil hab. | 1.173.500,00 | 2.290,00 | Anaeróbio / Aeróbio | 7.056,00 | | 27.002,37 |
| Produção estimada com operação dos sistemas em capacidade máxima | | | | | | | 28.617,76 |

FONTE (ARQUIVOS OPERACIONAIS)

¹ ESTIMADO ATRAVÉS DE BALANÇO DE MASSA (SPERLING et al., 2001)² CONSIDERANDO O LIMITE DE VAZÃO ATUAL.

O sistema de tratamento de esgoto predominante é o anaeróbio, utilizado em 98 % das ETEs, e realizado através de reatores RALF (reator anaeróbio de lodo fluidizado). Os sistemas RALF correspondem a 60,97 % da capacidade de tratamento instalada na cidade, atendendo a 62,28% da população com tratamento de esgoto. O sistema anaeróbio está presentes, principalmente, nas ETEs de pequeno e médio porte

(com capacidade de projeto para até 50.000 habitantes). Mais recentemente, ETEs de grande porte (Santa Quitéria e Atuba Sul) também vem sendo projetadas para operar através deste sistema. A maior estação que utiliza a tecnologia RALF é a ETE Atuba, que entrou em funcionamento ao final do ano de 1999, mas ainda não está produzindo lodo em escala, com previsão para início de descartes ainda em 2002.

A eficiência média destes sistemas em 2001 girou em torno de 71 % de remoção de DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Segundo LETTINGA et al. (1983) e GOMES (1997), os sistemas RALF são capazes de reduzir a poluição potencial dos esgotos em até 80% da DBO, quando operados idealmente. Nestas condições a produção de lodo nestes sistemas corresponde a 120 / 180 g SS (sólidos suspensos) / 1000 g de DQO (demanda química de oxigênio) aplicada (SPERLING e GONÇALVES, 2001). Considerando a produção per capita média diária de 0,1 kg DQO e 0,06 Kg SS, o cálculo estequiométrico resulta na produção teórica de 12 a 18 g SS (lodo) / hab.dia. Este parâmetro foi utilizado para estimar a produção de lodo nos sistema RALF apresentados na tabela 29.

Atualmente não se dispõem de dados concretos quanto a produção de lodo nos sistemas de porte menor, assim, a produção teórica representa uma estimativa da quantidade gerada. O efluente gerado nestes sistemas tem apresentado em média 48 mg/L de DBO_5 e 53,5 mg/L de SS, próximos aos apontados por SPERLING e GONÇALVES (2001) e ALÉM SOBRINHO (2000): 60 e 100 mg/L de DBO_5 e 40 a 80 mg/L de SS, encontrando-se dentro dos padrões de emissão exigidos pelo IAP: 60 mg/L de DBO_5 .

A ETE Belém é o único sistema aeróbio atualmente em operação na RMC. A ETE entrou em operação em 1980 e utiliza o sistema de aeração prolongada em valos de oxidação, denominado sistema *carroussel*. A eficiência de remoção de DBO nestes sistemas varia entre 96 e 98 % (JORDÃO e PESSOA, 1995). O sistema da ETE Belém opera atualmente com eficiência de remoção de DBO acima de 96% (dados operacionais USOE-CT).

A ETE Belém atualmente é alimentada com 54.496 m³/dia, atendendo a

282.729 habitantes e com uma carga orgânica diária média de 14.195 Kg DBO e 23.910,00 Kg DQO, correspondendo a 84g DQO/hab.dia e 50 g DBO/hab.dia. A produção diária de lodo do sistema em 2001 foi de 9.906 kg M.S., com produção per capita diária média de aproximadamente 35 g/hab.dia.

O sistema de lodos ativados com aeração prolongada, segundo SPERLING e GONÇALVES (2001), produz entre 0,5 e 0,55 Kg SS/ Kg de DQO aplicada, resultando na produção de 40 a 45 g SS/hab.dia, considerando contribuição per capita diária de 0,1 Kg DQO e 0,06 Kg de SS.

A produção inferior na ETE Belém deve-se provavelmente a carga orgânica per capita inferior a utilizada nos cálculos de projeto, 54 g DBO/hab.dia (ALÉM SOBRINHO (2001), e às ligações clandestinas, que diluem o esgoto e aumentam o volume que chega a estação, bem como a eficiência operacional do sistema, em torno de 96% em 2000 e 2001).

A operação da ETE Belém em carga de projeto (carga orgânica de 25.000 Kg DBO/dia e eficiência de 98%) tem uma produção estimada de lodo que poderia alcançar 24,5 t M.S./dia. Considerando os 830 l/s, que nas condições operacionais atuais é considerado o limite de vazão para um tratamento eficiente, a produção de lodo poderia alcançar 16,9 t MS/dia, aumentando significativamente a pressão para disposição final na Cidade.

O sistema de desaguamento do lodo produzido na ETE Belém é constituído por um adensador e duas prensas desaguadoras contínuas (tipo *belt press*), resultando em teor de sólidos final da ordem de 13% a 15 %. Após a desidratação parte do lodo é submetido ao processo de desinfecção química através da adição de até 50% de cal, em relação ao peso seco. Este processo além de promover a higienização do material reduz o teor de umidade da torta de lodo para 18 a 22% em média.

Os sistemas de pequeno e médio porte atendem atualmente a 322.522 habitantes de Curitiba, representando cerca de 20 % da população da cidade. Estas ETEs encontram-se distribuídas pela malha urbana da cidade e normalmente não possuem sistemas de desaguamento, higienização e estocagem. As características

operacionais dos sistemas RALF permitem o descarte do lodo excedente dos reatores em períodos de semanas a meses, com teor de sólidos próximos a 4% (SPELING e GONÇALVES, 2001). Nestes sistemas as descargas têm sido efetuadas com caminhão limpa-fossa e transportadas para a ETE Belém, onde são descarregadas na entrada do sistema.

As ETEs Atuba e Santa Quitéria ainda não entraram em estágio de operação normal, não sendo freqüentes e significativas as descargas de lodo nestes sistemas. Portanto, a ETE Belém caracteriza-se como grande centro produtor de lodo de Curitiba, produzindo em média 65 t (13 a 15 % M.S.) diárias de lodo, cerca de 2.000 t (13 a 15 % M.S.) mensais.

A produção de lodo, no entanto, tende a aumentar a curto prazo, com o aumento do descarte de lodo nos sistemas de pequeno porte e dos novos sistemas ainda em fase de início de operação. Não existem previsões quanto ao volume imediato de produção, no entanto, as ETEs Atuba e Santa Quitéria devem começar a descartar lodo ainda em 2002.

A longo prazo, com a operação dos sistemas em capacidade final de projeto, a perspectiva de produção de lodo gira em torno de 28,6 t M.S. de lodo diariamente (tabela 29). Optando-se pela reciclagem agrícola como alternativa de destinação final e da higienização com adição de cal a 50 % da M.S., a quantidade de lodo caleado para disposição alcançará aproximadamente 42,9 t M.S.

A reciclagem desta produção demandará cerca de 5,37 ha de área agrícola diariamente, e aproximadamente 1.611 ha anualmente, sem considerar as produções de lodo em outros municípios da RMC.

5.2 DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE ESGOTO EM CURITIBA

As alternativas de disposição adotadas pela SANEPAR para o lodo produzido na ETE Belém são a reciclagem agrícola e a deposição em lagoas de secagem de lodo, localizadas próximas a ETE. Nestas lagoas são dispostos, atualmente

cerca de 1.000 toneladas de lodo bruto mensalmente. Nas demais ETEs, quando processado na própria estação, o lodo normalmente é disposto no pátio.

A reciclagem agrícola absorve o restante da produção da ETE Belém, totalizando aproximadamente 1000 t de lodo bruto (13 a 15 % de sólidos) por mês. Este lodo, distribuído aos agricultores da RMC, é previamente submetido ao processo de desinfecção (estabilização) química, que consiste na mistura de cal virgem a taxa de 50% M.S., e estocagem em pátio impermeabilizado por 30 dias, assegurando, assim, o período de contato necessário para redução da presença de organismos patogênicos em níveis compatíveis com a atividade agrícola.

A produção de lodo caleado visando a distribuição para os agricultores na ETE Belém iniciou no mês de setembro de 2000, com a aprovação do "PLANO DE GERENCIAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO GERADO PELAS ETEs OPERADAS PELA USOECT" pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP). Os serviços de gerenciamento e operacionalização das atividades foram terceirizados, e envolvem a execução das seguintes atividades:

- Higienização do lodo, incluindo a aquisição da cal
 - Serviços de movimentação do lodo na ETE: transporte do ponto de mistura ao pátio de maturação e estocagem
 - Avaliação da qualidade do lodo: valor agronômico, sanidade, estabilidade e metais pesados
 - Identificação e seleção das áreas de aplicação seguindo as diretrizes definidas por SOUZA et al. (1996) e aprovadas pelo IAP.
 - Recomendação agronômica de uso: taxa de aplicação e complementação mineral, espécie a ser cultivada, procedimentos para aplicação, uso de EPI.
 - Controle de liberação do lodo: quantidade definida pela recomendação agronômica.

- Carregamento e transporte do lodo da ETE às áreas de aplicação
- Assistência técnica aos produtores beneficiados

Através de serviços terceirizados foram disponibilizados para os agricultores entre setembro de 2000 e janeiro de 2002 um total de 19.814 toneladas de lodo caleado, em média com 81,06 % de umidade. Na tabela 30 são apresentadas as características de processamento dos lotes de lodo individualizados.

TABELA 30. PRODUÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO DA ETE-BELÉM DISPOSTO NA AGRICULTURA ENTRE SETEMBRO DE 2000 E JANEIRO DE 2002.

| Lote | Quantidade t (úmidas) | Teor de sólidos % | Quantidade t MS | Mistura | | Amostragem | | Distribuição | |
|--------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|---------|-----------|------------|-----|--------------|-----------|
| | | | | Ano | Mês | Ano | Mês | Ano | Mês |
| 1 | 530,00 | 17,27 | 91,53 | 1999 | Ago / Dez | 2000 | Fev | 2000 | Set / Out |
| 2 | 1.500,00 | 17,88 | 268,20 | 2000 | Set / Out | 2000 | Out | 2000 | Out / Nov |
| 3 | 1.400,00 | 17,57 | 245,98 | 2000 | Dez | 2001 | Jan | 2001 | Jan |
| 4 | 2.307,00 | 17,63 | 406,72 | 2001 | Jan | 2001 | Fev | 2001 | Fev / Mar |
| 5 | 2.000,00 | 21,09 | 421,80 | 2001 | Jan / Fev | 2001 | Fev | 2001 | Mar/Abr |
| 6 | 1.490,00 | 18,61 | 277,29 | 2001 | Mar / Abr | 2001 | Abr | 2001 | Mai |
| 7 | 1.315,00 | 22,40 | 294,56 | 2001 | Mai | 2001 | Jun | 2001 | Jun |
| 8 | 1.520,00 | 16,50 | 250,80 | 2001 | Jun | 2001 | Jul | 2001 | Jul |
| 9 | 1.600,00 | 18,70 | 299,20 | 2001 | Jun | 2001 | Jul | 2001 | Ago |
| 10 | 507,00 | 15,11 | 76,61 | 2001 | Jul | 2001 | Jul | 2001 | Set |
| 11 | 1.710,00 | 22,47 | 384,24 | 2001 | Jul / Set | 2001 | Set | 2001 | Out |
| 12 | 1.110,00 | 17,54 | 194,69 | 2001 | Set / Out | 2001 | Out | 2001 | Nov |
| 13 | 1.500,00 | 17,93 | 268,95 | 2001 | Out / Nov | 2001 | Nov | 2001 | Dez |
| 14 | 1.325,00 | 20,60 | 272,95 | 2001 | Nov / Dez | 2001 | Dez | 2002 | Jan |
| Total | 19.814,00 | 18,94 | 3.753,52 | | | | | | |

Após a mistura e o período de contato, exigido pelo IAP, o lote de lodo caleado é amostrado e avaliado quanto à qualidade: valor agronômico, estabilidade, conteúdo de metais pesados e presença de agentes patogênicos, seguindo as orientações estabelecidas na Instrução Normativa do IAP para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto (IN IAP). Esta I.N. estabelece frequência de amostragem dependendo do porte da ETE, variando uma vez ao ano para ETEs que produzem até 60 t M.S./ano, à amostragem por lotes (tabela 31), para ETEs com produção anual de lodo superior a 240 t M.S.

TABELA 31. FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM E PARÂMETROS DE QUALIDADE DO LODO EXIGIDOS PELO IAP.

| ANÁLISES | PARÂMETROS | FREQUÊNCIA |
|------------------------------------|--|----------------------|
| Características agronômicas | pH, H ₂ O, C, N, P, K, Ca, Mg, | A cada 100 t de M.S. |
| Estabilidade | Sólidos Fixos (Cinzas) | A cada 100 t de M.S. |
| Metais pesados | Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr | A cada 400 t de M.S. |
| Características sanitárias do lodo | Contagem e viabilidade de ovos de helmintos Coliformes fecais | A cada 400 t de M.S. |

FONTE: FERNANDES et al. (1999)

Para as condições da ETE Belém, com reciclagem no ano de 2001 de aproximadamente 3.300 t M.S. de lodo higienizado, a avaliação das características agronômicas e da estabilidade deve ser efetuada a cada lote de 528 t de lodo higienizado (18,94 % de sólidos em média). Para o monitoramento dos contaminantes biológicos e metais pesados, a produção deve ser dividida em lotes com cerca de 2.117 t de lodo (18,94% de sólidos).

A frequência de amostragem para monitoramento de poluentes, patógenos e atração de vetores (odor) prescrita pela Part 503 CFR 40 da USEPA (USEPA, 1997), também é definida em função da produção de lodo do sistema, variando de uma vez ao ano para ETEs que produzem até 290 t M.S./ano a uma vez por mês para ETEs que produzem mais de 15.000 t M.S./ano. Para estações com produção entre 5 e 50 t M.S./dia, como a ETE-Belém, a frequência de amostragem definida pela Part 503 seria de 60 dias, com realização pelo menos 6 vezes no ano. Verifica-se que a I.N. do IAP é mais exigente em relação à frequência de amostragem, definindo, para as mesmas condições, 8 amostragens anuais.

A I.N. do IAP não define com precisão a necessidade de formação de lotes para monitoramento da qualidade do lodo ou se estas análises poderiam ser realizadas com caráter de fiscalização/comprovação da eficiência do processo de higienização. Com a operacionalização da reciclagem em escala real esta questão apresenta-se com grande relevância.

Nas condições atuais da ETE Belém, a formação dos lotes de 400 t M.S. demanda 35 dias operacionais, que equivalem a 42 a 45 dias de calendário. Assim, no momento de amostragem, após o período de contato de 30 dias, as primeiras descargas

terão tempo estocagem superior a 70 dias, e quando da confirmação dos resultados analíticos, mais de 100 dias, demandando grandes áreas de estocagem. Na prática, a solução para este problema tem sido a produção de lotes menores (tabela 30), permitindo melhor gerenciamento dos pátios. Esta solução, no entanto, aumentando os custos com análises.

Nos programas de reciclagem agrícola da ETE Franca (SABESP) e das ETEs da CAESB em Brasília, a qualidade sanitária e a contaminação com metais pesados do lodo é realizada periodicamente, seguindo as diretrizes da EPA, sem contudo estar associada a formação de lotes.

A adoção deste sistema de monitoramento em Curitiba, contudo, depende da definição de parâmetros operacionais indicativos da eficiência do processo de desinfecção, e que deverão ser monitorados constantemente. Para a caleação estes indicadores são: a quantidade e a qualidade da cal utilizada, o pH, o tempo e as condições de estocagem. Estes parâmetros foram apontados por FERNANDES et al. (1996b), THOMAZ-SOCCOL et al. (1999) e GASPARD, WIART e SCHWARTZBROD (1996) como os principais fatores associados a eliminação dos parasitos do lodo no processo de caleação. Segundo estes autores os patamares de contaminação biológica exigidos na IN do IAP são alcançados com a caleação a 50% do peso seco quando o processo eleva o pH do lodo a níveis acima de 12 e mantém-se próximo a este durante o período de estocagem, mínimo de 30 dias, idealmente em pátio coberto.

Através destes sistemas de monitoramento, a produção poderá ser dividida em lotes menores e o tempo de permanência no pátio estendido para período superior a 30 dias, garantindo maior eficácia para a higienização. As análises de auto fiscalização poderão ser realizadas com a mesma frequência, a cada 45 dias em média, atualmente. No entanto, uma não conformidade neste caso implicaria na suspensão das atividades do programa de reciclagem, a revisão dos procedimentos operacionais relacionados à higienização e comprovação de que estas medidas equacionarão o problema. Somente após estas garantias o processo poderia ser retomado em escala real.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO DISPONIBILIZADO AOS AGRICULTORES

5.3.1 Valor agronômico

Os parâmetros químicos adotados como indicadores do valor agronômico dos lotes de lodo reciclados na RMC foram: pH CaCl_2 , umidade, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Os resultados disponíveis de caracterização dos lotes de lodo distribuídos aos agricultores entre setembro de 2000 e dezembro de 2001 são apresentados na tabela 32 a seguir.

TABELA 32. RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DE VALOR AGRONÔMICO DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM DE SETEMBRO DE 2000 A MARÇO DE 2002.

| Lotes | pH | Umidade | N | P | P_2O_5 | K | K_2O | Ca | Mg |
|--------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|----------------------|--------------|-------------|
| | CaCl_2 | % | % | | | | | | |
| 1 | 12,73 | 82,73 | 2,01 | 0,79 | 1,81 | 0,12 | 0,15 | 12,30 | 6,20 |
| 2 | 10,17 | 82,12 | 2,08 | 0,87 | 1,99 | 0,09 | 0,11 | 13,30 | 7,80 |
| 3 | 12,31 | 82,43 | 1,92 | 0,40 | 1,00 | 0,16 | 0,19 | - | - |
| 4 | 12,00 | 82,37 | 1,57 | 0,60 | 1,37 | 0,15 | 0,18 | - | - |
| 5 | 11,02 | 78,91 | 2,53 | 0,50 | 1,14 | 0,15 | 0,18 | - | - |
| 6 | 12,10 | 81,39 | 4,52 | 0,51 | 1,17 | 0,19 | 0,24 | - | - |
| 7 | - | 77,60 | 2,45 | 0,50 | 1,14 | 0,12 | 0,15 | - | - |
| 8 | - | 83,50 | 2,43 | 0,49 | 1,11 | 0,11 | 0,14 | - | - |
| 9 | - | 81,30 | 4,25 | 1,11 | 2,53 | 0,13 | 0,16 | 3,68 | 2,30 |
| 10 | - | 84,89 | 2,93 | 0,77 | 1,76 | 0,01 | 0,02 | 6,80 | 2,90 |
| 11 | - | 77,53 | 3,06 | 0,81 | 1,85 | 0,01 | 0,02 | 5,60 | 4,10 |
| 12 | - | 82,46 | 2,82 | 0,85 | 1,95 | 0,00 | 0,01 | 6,30 | 4,10 |
| 13 | - | 82,07 | 1,81 | 0,92 | 2,10 | 0,57 | 0,71 | 14,38 | 6,20 |
| 14 | - | 79,40 | 2,74 | 0,82 | 1,88 | 0,14 | 0,17 | 14,38 | 5,23 |
| média | 11,72 | 81,18 | 2,77 | 0,72 | 1,65 | 0,20 | 0,25 | 11,65 | 5,22 |

* - = análise não disponível

Não foram definidos critérios normativos que estabeleçam limites ou restrições quanto aos níveis de nutrientes e dos outros parâmetros monitorados nas análises de valor agronômico, no entanto, estes elementos são fundamentais para a definição das taxas de aplicação do resíduo aos solos e como indicadores da dosagem de cal empregada para higienização.

A Norma Francesa NFU 44/041 determina a caracterização prévia dos lodos para através dos teores encontrados de N e P definir qual destes nutrientes será o fator limitante e determinante da dose máxima permissível. Na Dinamarca, a aplicação é limitada a aportes máximos de 250 Kg de N e 40 kg P/ha.ano (BUNDGAARD & SAABYE, 1992). A EPS do Canadá também faz restrições ao conteúdo de fósforo e recomenda aplicação de lodo apenas em solos com baixos teores do nutriente (EPS, 1984). No Brasil, no entanto, o P não representa riscos ambientais em função do baixo conteúdo natural e da grande capacidade de fixação do elemento no solo, sendo os maiores problemas consequência do transporte junto com o solo no processo erosivo.

Em muitos países a taxa de aplicação é definida em função da necessidade de N da cultura, para que não haja excesso de nutrientes e a possibilidade de lixiviação, contaminando o lençol freático (USEPA, 1997; HALL, 1998; SANEPAR, 1999; FERNANDES et al., 1999; GSCHWIND e PIETS, 1992; WEBER, 1984).

Os conteúdos de nitrogênio, fósforo e potássio dos lotes de lodo da ETE Belém reciclados até março de 2002 estão coerentes os teores médios verificados entre 1994 e 1995 nesta ETE: 2,94 % de N; 0,96 P e 0,168% de K (SANEPAR, 1997). Amostras do lodo da ETE Belém caleadas em 1996 mostraram variações entre 1,97 e 3,02 % de N.

BONNET (1995) avaliando a qualidade do lodo bruto da mesma estação encontrou teores médios de 5,15% de nitrogênio, de 1,66% de fósforo e 0,26% de potássio. Dentre estas análises o autor encontrou teores de N variáveis entre 1,54% e 8,7%, confirmando a variabilidade verificada entre os lotes analisados (tabela 32).

Esta variação pode estar associada a diferença de composição do esgoto bruto que chega a estação, a perdas através de volatilização durante a estocagem, diluição com a adição da cal e, mais provavelmente, pela variação da idade do lodo nas câmaras aeradas. Maiores períodos de residência resultam em lodos mais estabilizados e com teores pouco menores de Nitrogênio. Após a caleação e durante a estocagem, os níveis de nitrogênio também são reduzidos, devido a volatilização da amônia.

Para o P, o teor médio verificado até o momento é de 0,72 %. Quanto ao potássio, as concentrações são pequenas porque este elemento é altamente solúvel em água e durante o tratamento do esgoto, permanece na fase líquida do processo.

Os teores de Ca, mostraram-se bastante variáveis entre os diferentes lotes, com teores acentuadamente menores nos lotes 9, 10, 11, produzidos entre maio e setembro (tabela 32). Os teores médios encontrados em lodos desaguados da ETE Belém normalmente variam entre 1 a 1,5% M.S., enquanto em lodos caleados, este valor sobe para 7,5 a 13%, dependendo da qualidade da cal e das taxas de mistura.

Os teores intermediários, verificados nos lotes avaliados, podem ser resultantes de variações nas dosagens, mistura não homogênea do lodo com cal ou da qualidade das cales utilizadas. O aumento dos teores nos lotes seguintes demonstra que os problemas foram resolvidos a partir do lote 12, com o aumento dos teores de Ca (tabela 32).

A faixa de variação dos teores de Mg apresentou-se próximo aos verificados por BONNET (1995), 3,01% a 12% M.S., SANEPAR (1997), 4,78% M.S., WIESNIEWSKI et al. (1996), 7,2 % M.S. e DESCHAMPS et al. (1997), 6,4 % M.S., e pouco inferiores aos encontrados por FAVARETTO et al. (1997), 8,0% M.S. Os teores de Mg nos lodos brutos normalmente são baixos, variando entre 0,3 e 0,6. Os teores mais altos em lodos, assim como para o Ca, dependem da composição química das cales, da proporção de cal utilizada e da homogeneidade de mistura, que podem sofrer variações entre um lote e outro.

Com relação ao conteúdo de material orgânico, os lotes produzidos até dezembro de 2002 foram avaliados segundo a metodologia de Walkley e Black, apropriada para análise de rotina de solos, porém para fertilizantes orgânicos, gera resultados inferiores à metodologia do LANARV. Assim, o conteúdo de matéria orgânica destes lotes provavelmente subdimensionada, variou entre 12 e 22%.

Embora não represente parâmetro restritivo para utilização do lodo, a matéria orgânica é apontada como um dos componentes de maior importância e valor no lodo. Os valores encontrados em amostragens periódicas realizadas na ETE Belém e em

trabalhos de outros autores apontam teores de carbono orgânico superiores a 30 % para lodos brutos e redução para nível próximo a 20 % após a caleação, conforme tabela 33.

TABELA 33. TEORES DE CARBONO EM LODOS DE ESGOTO BRUTO E CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM

| Fonte | Tipo de Lodo | C (% MS) | N (% MS) | Relação C:N |
|-------------------------|--------------|----------|----------|-------------|
| SANEPAR (1997) | bruto | 32,10 | 4,19 | 7,66:1 |
| BONNET (1995) | bruto | 37,00 | 5,15 | 7,18:1 |
| SANEPAR (1997) | caleado | 20,50 | 2,94 | 6,97:1 |
| DESCHAMPS et al. (1997) | caleado | 20,90 | 3,50 | 5,97:1 |
| FAVARETTO et al. (1997) | caleado | 13,40 | 2,50 | 5,36:1 |

Comparados aos teores verificados nos lodos aplicados na agricultura em outras cidades brasileiras, o lodo higienizado da ETE Belém apresenta teores próximos aos observados em Brasília e Franca. Em Franca, o teor médio encontrado em 1999 foi 36,25% de carbono, com a estabilização do processo o teor médio atual é de 30,05%. Em Brasília, o teor médio é de 34,72%. Nestas ETES o lodo é produzido em sistema aeróbio, porém é estabilizado em biodigestores anaeróbios, e utilizados na agricultura sem processo adicional de higienização, como a caleação em Curitiba., razão pela qual o conteúdo de carbono nos lotes caleados da ETE Belém é inferior ao destas ETES

Com a ausência da caracterização dos teores de carbono dos lotes não é possível estabelecer a relação C:N, que reflete a velocidade e o potencial de decomposição do material no solo, assim como a mineralização do N orgânico. Em estudos desenvolvidos pela SANEPAR nos anos de 93 e 94 e por outros autores (tabela 33) a relação C/N do lodo produzido na ETE Belém variam entre 4:1 a 12:1.

Materiais orgânicos com relação C:N inferiores a 20:1 normalmente apresentam decomposição rápida e transformação do N orgânico em formas assimiláveis para as plantas (KIELH, 1985).

As análises de pH foram realizadas apenas nos seis primeiros lotes (tabela 32). Embora este parâmetro não represente limites restritivos à utilização agrícola do lodo, o pH pode ser utilizado como indicador da eficiência do processo de higienização. A manutenção do pH em níveis próximos a 11 por 30 dias é considerado um dos principais fatores associados a redução dos organismos patogênicos, principalmente dos helmintos, do lodo.

A conservação destes níveis de pH só é verificada nos lotes em que o processo de mistura e a qualidade da cal utilizada são adequados. Quando o pH e os teores de cálcio dos lotes estão muito abaixo de 11 e 7,5%, são indícios de que ocorreram falhas no processo de caleação, que podem ser resultantes da baixa qualidade da cal, de pouca cal ou de má qualidade da cal.

Os resultados de pH dos primeiros lotes, após o período de contato de 30 dias, foram superiores a 10, semelhantes aos apontados por SANEPAR (1997), THOMAZ-SOCCOL et al. (1999), WIESNIEWSKI et al. (1996), FAVARETTO et al (1998), DESCHAMPS et al. (1997), para o lodo da ETE-Belém. GRASCHIND e PITZ (1992) em lodo nos EUA, apontam variação de 9 a 12, provavelmente em função da adição de doses menores de cal.

O nitrogênio é fundamental na recomendação agrônômica, e na prática, representa tanto o nutriente que agrega maior valor como um dos contaminantes mais restritivos presentes no lodo, devido aos riscos de lixiviação dos solos e contaminação da água subterrânea. Entre os nutrientes, o nitrogênio é, também, o elemento que apresenta maior variabilidade entre os lotes (tabela 32), aumentando os riscos de aplicações excessivas, quando o monitoramento não é realizado com a frequência estabelecida.

O conteúdo de fósforo e potássio são utilizados no cálculo da complementação com fertilizantes minerais, embora na prática, poucos agricultores tenham alterado suas práticas de fertilização de base (plantio) devido à utilização lodo.

Os teores de cálcio, magnésio e o pH não são atualmente utilizados na rotina operacional, contudo, constituem indicadores do processo de desinfecção química, variando significativamente com as variações deste processo. A quantidade de carbono e a relação C:N, são parâmetros normalmente pouco variáveis, que estão associados ao potencial de decomposição do lodo e mineralização de N.

5.3.2 Agentes Patogênicos

Foram utilizados como indicadores do perfil sanitário do lodo reciclado a concentração de coliformes fecais e de ovos viáveis de helmintos, seguindo as orientações definidas pela I.N. do IAP. Os resultados da caracterização de todos os lotes de lodo disponibilizados aos agricultores entre setembro de 2000 e março de 2002 são apresentados na tabela 34.

TABELA 34. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES FECAIS E HELMINTOS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS ENTRE SETEMBRO DE 2000 E DEZEMBRO DE 2001 EM CURITIBA

| Lote | Coliformes fecais (NMP/100g M.S.) | Helmintos | | |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| | | (ovos viáveis/g M.S.) | Viabilidade (% dos ovos totais) | Número Total Ovos/g M.S. |
| 1 | < 200 | 0,00 | 0,00 | 0,36 |
| 1 | < 200 | 0,14 | 2,20 | 6,37 |
| 2 | < 200 | 0,12 | 3,60 | 1,88 |
| 3 | < 200 | 0,06 | 2,20 | 5,45 |
| 4 | < 200 | 0,12 | 2,90 | 1,98 |
| 5 | < 200 | 0,62 | 9,75 | 6,36 |
| 6 | < 200 | 0,14 | 3,20 | 4,41 |
| 7/8 | < 200 | 0,28 | 1,65 | 16,95 |
| 9 | < 200 | 0,32 | 15,73 | 2,03 |
| 10 | < 200 | 0,52 | 6,76 | 7,69 |
| 11 | < 200 | 0,06 | 0,56 | 10,74 |
| 12 | < 200 | 0,18 | 18,75 | 0,96 |
| 13 | < 200 | 0,00 | 0,00 | 0,33 |
| 14 | < 200 | 0,23 | 6,57 | 3,50 |
| 15 | <200 | 0,08 | 2,02 | 3,97 |
| 16 | <200 | 0,13 | 3,77 | 3,98 |
| Média | <200 | 0,21 | 5,51 | 5,66 |
| I.N. IAP | 100.000* | 0,25 | | |

* 1000 NMP/g M.S.

Os critérios adotados pela Comunidade Européia (diretiva 86/287/EEC) para disposição de lodo exigiam alguma forma de tratamento para redução de patógenos apenas para aplicação superficial de lodo, deixando que cada país membro definisse limites próprios. Como resultado, os padrões são bastante variáveis, partindo apenas definição de processos de tratamento do lodo e restrições temporais para as plantações no Reino Unido(U.K.), à restrições quantitativas de agentes patogênicos para disposição em superfície em culturas que oferecem maior risco à população. A nova legislação da CEE definiu limites de contaminação gerais para *Salmonella sp* e Coliformes fecais, não estabelecendo limites para helmintos (ROGALA, 1998).

A legislação mais rigorosa em relação à concentração de patógenos é a dos EUA. A CFR 40 Part 503 da USEPA define dois "tipos" de lodo em função do perfil sanitário. Os lodos "Classe B", produzidos por processos convencionais de estabilização, e que podem conter até $2 \cdot 10^6$ NMP de Coliformes fecais por g M.S, no entanto só podem ser utilizados com a observância de critérios de segurança relacionados a culturas e atividades nas áreas de aplicação. Os lodos "Classe A" devem ser produzidos através de processos que garantam uma concentração máxima de 1000 NMP de coliformes fecais por grama de lodo M.S. ou menos de 3 NMP de Salmonella/4 g M.S.; e 1 ovo viável de helminto/4 g M.S. Estes lodos podem ser comercializados em supermercados e utilizados para adubação de jardins e hortaliças, seguindo os padrões e normatização aplicáveis a fertilizantes dos EUA (USEPA, 1997).

O padrão sanitário definido pela I.N. do IAP segue os padrões classe "A" dos EUA e os critérios limitantes aplicados aos lodos classe "B", caracterizando-se, assim, como uma das legislações mais rigorosas do mundo.

Os resultados apontados na tabela 33 demonstram a eficácia do processo de caleação sobre a eliminação dos coliformes fecais do lodo. Todas os lotes apresentaram concentrações abaixo do nível de detecção (200 NMP/100g), muito inferior ao limite de restrição de uso definido pela IN do IAP: 100.000 NMP/ 100g M.S.

Os níveis de eliminação de parasitos do lodo apresentaram-se, no entanto, bastante variáveis, atendendo na maioria das vezes aos limites da IN do IAP (tabela 33). Os lotes cinco, sete/oito, nove e dez apresentaram teores superiores aos máximos permitidos pela I.N.

Destes lotes, os mais destoantes foram o cinco e o dez, que apresentaram teores significativamente superiores aos definidos pela I.N. e totalizam 11,11% dos lodos aplicados na agricultura. Estas discrepâncias provavelmente tenham sido provocadas pelo período de contato insuficiente. Observando o cronograma de produção / amostragem apresentado na tabela 29, verifica-se que a coleta das amostras

para análise não foi realizado no mesmo mês de produção do lote, desrespeitando o período de contato mínimo de 30 dias, considerado um dos fatores essenciais para a eficácia do processo de caleação. Segundo THOMAZ-SOCCOL et al. (1999), ovos de alguns destes organismos podem ser resistentes a variações bruscas nas condições físicas e químicas do meio, o que os torna capazes de sobreviver por longos períodos.

Em relação aos lotes sete / oito e nove, o perfil sanitário apresentou-se bastante próximo ao limite de 0,25 ovos viáveis/g M.S., apresentando 12 e 28 % mais ovos. Estes resultados coincidem com os baixos teores de cálcio (tabela 31), podendo ser resultantes de mistura não homogênea com a cal, falhas no sistema de dosagem ou da qualidade da cal.

Voltando novamente a tabela 29, verifica-se que estes lotes permaneceram na ETE em média um mês além do período de contato, o que provavelmente tenha reduzido os níveis de contaminação parasitológica dos lotes. Resultados de GASPARD et al. (1996) e THOMAZ SOCCOL et al. (1999) apontam inviabilização total dos ovos de helmintos com a caleação após 60 dias de período de contado. Destaca-se no entanto que estes deveriam ter sido reavaliados para confirmação desta hipótese antes de serem distribuídos aos agricultores.

Algumas medidas foram adotadas com o intuito de resolver o problema, entre elas, monitoramento do o processo de mistura, com controle mais eficiente das dosagens e a homogeneidade da torta de lodo + cal, melhorias na infra-estrutura do pátio de estocagem. O pátio de estocagem de lodo foi ampliado, impermeabilizado e coberto. HARRY (1995), destacava a importância da construção deste pátio visando uma maior garantia sobre a sanidade e homogeneização do lodo quando destinado à agricultura. Como resultado, verifica-se uma melhoria significativa do perfil parasitológico do lodo a partir do décimo primeiro lote (tabela 33).

Medidas adicionais poderiam, ainda, ser empregadas para melhorar o processo e garantir a qualidade sanitária do lodo: sistema de dosagem de cal mais preciso, aumento da caixa de mistura lodo+cal, favorecendo a homogeneização da mistura, monitoramento do pH durante a estocagem dos lotes, o pH deve permanecer

próximo a 11 para a eficácia do processo (THOMAZ SOCCOL et al., 1999), e a inclusão no fluxo operacional do processo de alternativas de gerenciamento para os lotes que não cumprirem os padrões normativos, como por exemplo: separação dos lotes, retorno para caleação, aumento do período de estocagem e outra modalidade de destinação final (aterro, *landfarming*, etc...).

No Brasil, entre os estados que realizam reciclagem oficialmente, os níveis de helmintos dos lodos são elemento de restrição apenas no Paraná. Na ETE Franca, análises de caracterização do lodo de 2000 apresentaram 3,15 ovos viáveis por grama de M.S., em 2001, foram 8,05 ovos viáveis por grama de M.S. (VANZO et al., 2001). O lodo de Franca tem sido aplicado principalmente em culturas de café, cana-de-açúcar e reflorestamento, embora seu uso esteja autorizado para culturas de cereais, também, como em Curitiba. Em Brasília, o monitoramento se restringe a Coliformes fecais, e o lodo é utilizado sem processo adicional de higienização, apenas estabilização anaeróbia (biodigestores).

Verifica-se, portanto, que comparado aos níveis de contaminação dos lodos utilizados segundo os mesmos critérios em Franca (SP), nos EUA e em países Europeus, os níveis de contaminação sanitária do lodo caleado da ETE-Belém são significativamente mais seguros, mesmo naqueles lotes que ultrapassaram os limites da I.N. IAP. Evidencia-se, contudo, que o processo pode ser melhorado.

5.3.2.1 Sobrevivência de Helmintos

Entre os organismos patogênicos presentes no lodo, os mais resistentes aos processos de higienização são os helmintos, e por isso os que oferecem maior risco. A tabela 35 mostra as espécies destes parasitos que sobreviveram ao processo de desinfecção nos lotes de lodo da ETE-Belém distribuídos aos agricultores entre setembro de 2000 e março de 2002, onde se destaca a *Ascaris sp.*

ABELA 35. QUANTIDADE E ESPÉCIES DE HELMINTOS APÓS A CALEAÇÃO NOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO RECICLADOS EM CURITIBA ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002.

| Lote | <i>Ascaris</i> sp. | <i>Trichuris</i> sp. | <i>Toxacara</i> sp. | <i>Hymenopolis diminuta</i> | <i>Taenia</i> sp. |
|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|
| Ovos viáveis g/ M.S. | | | | | |
| 1 | n.d.* | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 1 | 0,14 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 2 | 0,10 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 3 | 0,12 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 4 | 0,056 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 5 | 0,62 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 6 | 0,11 | n.d. | n.d. | 0,03 | n.d. |
| 7/8 | 0,07 | n.d. | n.d. | 0,14 | 0,07 |
| 9 | 0,32 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 10 | 0,45 | n.d. | 0,07 | n.d. | n.d. |
| 11 | 0,06 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 12 | 0,18 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 13 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 14 | 0,23 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 15 | 0,08 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| 16 | 0,13 | n.d. | n.d. | n.d. | n.d. |
| Média | 0,163 | n.d. | 0,007 | 0,017 | 0,007 |

*n.d.: não detectado

Os resultados desta caracterização confirmam a expectativa de que os ovos de *Ascaris* sp. são bastante resistentes às variações do meio, persistindo em 93,75% dos lotes ao processo de higienização. Os *Ascaris* sp. são parasitos que apresentam ovos de constituição particularmente resistentes, capazes de sobreviver em meio inóspito por vários anos (SANEPAR, 2000; THOMAZ-SOCCOL et al., 2000). São importantes ainda por representarem em média 75% dos parasitos normalmente presentes no lodo da ETE-Belém (THOMAZ-SOCCOL et al., 1999).

O processo de caleação mostrou-se bastante confiável na eliminação de *Trichuris* sp. e *Toxacara* sp (tabela 35), também considerados resistentes e capazes de sobreviver em meio edáfico por vários anos (THOMAZ-SOCCOL et al., 1999; SILVA et al., 2001).

Os parasitos do gênero *Taenia* representam seguramente os patógenos de maior interesse e riscos nos lodos destinados a agricultura, em função das conseqüências clínicas potencialmente severas que podem proporcionar, principalmente a *Taenia solium*, cuja ingestão de ovos pode provocar a cisticercose. Observando os resultados para viabilidade de ovos de *Taenia* sp. após a higienização

dos lodos distribuídos aos agricultores em 2000, 2001 e 2002 (tabela 35), verifica-se a caleação mostrou-se bastante eficiente para este grupo de organismos: apenas com o lote sete/oito apresentando ovos viáveis.

Para os demais helmintos a contaminação se limita ao parasitismo e seus sintomas clínicos, podendo ser eliminados facilmente com a administração de vermífugos. A cisticercose, no entanto, não tem cura e os sintomas clínicos são muito mais severos que os provocados pelos demais helmintos analisados. Assim, os riscos potenciais da aplicação na agricultura são maiores quando existem ovos viáveis de *Taenia sp.* no lodo, mesmo que este esteja adequado aos padrões sanitários normativos.

Entre os lotes cinco, nove e dez, que totalizaram mais de 0,30 ovos viáveis de helmintos por grama de matéria seca, o gênero predominante é o *Ascaris sp.* No lote 7/8, que apresentou 0,28 ovos viáveis de helmintos por grama de matéria seca, foram detectados três gêneros (tabela 35), destacando-se o *Hymenopolis diminuta* com 50% dos ovos viáveis detectados, caracteriza-se ainda como único lote onde foi detectada presença de *Taenia sp.*.

5.3.2.2 Considerações sobre o processo de higienização, riscos de contaminação e monitoramento.

O processo de desinfecção alcalina através da caleação é reconhecido mundialmente como um processo de redução significativa de patógenos, credenciando o material para utilização com os mesmos critérios restritivos adotados pelo IAP no Paraná:

- Aptidão do solo, limitando a aplicação a solos onde os riscos de contaminação das águas de superfície e subterrânea sejam reduzidos.
- Espécies cultivadas, impedindo o uso em culturas de consumo “in natura”, olerícolas e jardinagem e impondo restrições para entrada de animais em áreas pastagens após a utilização do lodo (75 dias após a

aplicação).

- Incorporação do lodo ao solo: reduzindo o risco de contato direto e favorecendo a competição com outros organismos do solo.

O potencial de contaminação de consumidores dos produtos cultivados nas áreas adubadas com lodo, portanto, é significativamente reduzido. Os maiores riscos são verificados no momento da aplicação, com a possibilidade de ingestão ou inalação dos agentes patogênicos pelos agricultores. Estes riscos devem ser minimizados com a utilização de EPI (equipamento de proteção individual) apropriado: máscaras, luvas e botas.

São raros na literatura mundial relatos de transmissão de doenças devido aos uso agrícola de lodos higienizados. USEPA (1979) reporta alguns casos atribuídos ao lodo e ao consumo de carne de gado alimentado com pastagem fertilizada com lodo. Na RMC foram levantadas duas hipóteses de contaminação de agricultores após aplicação de lodo, uma em Araucária e outra em São José do Pinhais, em ambos foi comprovada a isenção do lodo nos casos. É importante, no entanto, que a SANEPAR se comprometa a atender adequadamente os possíveis indícios de contaminação levantados.

Portanto, ainda que observados problemas pontuais no processo de higienização, os padrões normativos rigorosos da IN IAP permitem uma margem grande de segurança quando comparada a outros exemplos de utilização de lodo, no Brasil (ETE Franca e CAESB) ou no Exterior (EUA e Europa) amenizando os problemas verificados, todavia, aponta a necessidade de melhoria do processo.

5.3.3 Metais Pesados

Foram utilizados como indicadores da contaminação por metais pesados os elementos Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn e Hg., seguindo as orientações definidas pela IN do IAP,

Os elementos definidos pela proposta de norma para regulamentação da reciclagem agrícola do lodo (IN do IAP) constituem a lista mínima de metais recomendados para monitoramento pela Diretiva 86/278/EEC mais o elemento cromo (Cr). Estes elementos estão presentes na maioria das legislações mundiais.

Os resultados da caracterização de todos os lotes disponibilizados aos agricultores entre setembro de 2000 e dezembro de 2001 são apresentados na tabela 36.

TABELA 36. CONTAMINAÇÃO COM METAIS PESADOS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO PRODUZIDOS NA ETE BELÉM E APLICADOS NA AGRICULTURA EM 2000 E 2001 NA RMC.

| Lote | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|---------------|---------------|--------------|-----------------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|
| mg/kg | | | | | | | |
| 1 | 3,19 | 16,63 | 36,99 | 51,51 | 209,92 | <0,20 | 58,41 |
| 1 | 3,60 | 14,10 | 37,97 | 55,35 | 217,20 | <0,20 | 69,15 |
| 2 | <2,00 | 22,80 | 31,70 | 35,80 | 427,00 | <0,20 | 79,00 |
| 3 | <2,00 | 29,00 | 37,00 | 43,00 | 369,00 | <0,20 | 79,00 |
| 4 | <2,00 | 3,00 | 38,00 | <1,00 | 425,00 | <0,20 | 10,00 |
| 5 | 1,00 | 27,27 | 35,57 | 39,40 | 407,00 | 0,20 | 86,00 |
| 6 | <1,00 | 19,10 | 47,10 | <1,00 | 495,20 | 1,90 | 106,80 |
| 7 e 8 | <1,00 | 25,20 | 29,50 | 22,90 | 388,70 | 1,60 | 80,90 |
| 9 | 0,60 | 20,80 | 88,30 | 27,80 | 527,00 | 1,40 | 117,20 |
| 10 | <0,48 | 21,66 | 61,60 | 32,88 | 283,74 | 1,04 | 86,84 |
| 11 | 0,88 | 16,10 | 89,30 | 34,30 | 411,70 | 2,60 | 87,10 |
| 12 | <0,50 | 13,21 | 39,52 | 21,84 | 311,44 | 1,51 | 61,46 |
| 13 | 0,60 | 15,67 | 27,87 | 39,68 | 446,07 | 1,23 | 100,59 |
| 14 | 0,50 | 17,44 | 33,08 | 35,87 | 456,48 | 3,12 | 90,18 |
| Média | 1,38 | 20,64 | 45,25 | 34,64 | 383,96 | 1,23 | 85,90 |
| Desvio Padrão | 0,74 | 4,18 | 15,04 | 7,58 | 75,50 | 0,61 | 12,46 |
| IN IAP | 20,00. | 30,00 | 1.000,00 | 750,00 | 2.500,00 | 16,00 | 1.000,00 |

No que concerne aos metais pesados os valores encontrados nestas análises apresentam-se muito abaixo dos teores limitantes estabelecidos pela IN do IAP, pela Diretiva da CEE e para o lodo classe A ("exceptional quality") definido pela EPA. Em relação ao histórico dos lodos produzidos na ETE Belém (tabela 37), verifica-se que os teores dos lotes distribuídos aos agricultores em 2000 e 2001 em geral apresentam níveis significativamente inferiores para todos os elementos, apontando melhora na qualidade do lodo em relação aos anos anteriores.

TABELA 37. TEORES DE METAIS PESADOS EM LODOS PRODUZIDOS NA ETE-BELÉM

| Lote | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|--|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| | mg/kg | | | | | | |
| BONNET (1995) ¹ | 4,50 | 85,30 | 86,25 | 74,24 | 564,00 | 1,77 | 157,50 |
| DESCHAMPS et al. (1997) ¹ | 5,00 | 30,00 | | 77,00 | 552,00 | 1,70 | 136,00 |
| MIYAZAWA et al. (1999) ² | 3,35 | 49,00 | 149,6 | 233,00 | 1.120,00 | | 257,00 |
| MIYAZAWA et al. (1996) ² | <2,50 | 81,00 | 125,00 | 268,00 | 1.340,00 | | 401,00 |
| SANEPAR (1997) ¹ | 12,00 | 150,00 | 299,00 | 200,00 | 1350,00 | 4,40 | 520,00 |
| MORAES e DESCHAMPS (1996) ¹ | | 40,00 | | 74,00 | 319,00 | 0,80 | 110,00 |
| KAMOGAWA et al. (1997) ² | | 23,00 | 91,00 | 80,00 | 704,00 | | 265,00 |
| Média | 6,21 | 65,47 | 150,17 | 143,75 | 849,86 | 2,17 | 263,70 |

¹ DIGESTÃO COM HNO₃ 1 MOLAR² DIGESTÃO NÍTRO - PERCLÓRICA

Comparados aos teores encontrados em ETEs que recebem contribuições industriais, como a ETE Barueri (ANJOS, 1999), com 17 a 25 mg/kg de Cd, 383 a 596 mg/kg de Cr, 683 a 847 mg/kg de Cu, 365 a 390 mg/kg de Ni, 129 a 193 mg/kg de Pb e 1835 a 2.212 mg/kg de Zn; e da ETE - Suzano (SILVA et al., 2001) - 2 a 7 mg/kg de Cd, 187 a 273 mg/kg de Pb, 803 a 841 mg/kg de Cu, 15 mg/kg de Hg, 269 a 390 mg/kg de Ni e 1793 a 2846 mg/kg de Zn -, o lodo da ETE Belém apresenta valores bastante baixos de todos os elementos. Estas concentrações, são resultado das políticas adotadas pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), de exigir o tratamento dos efluentes industriais antes do seu lançamento em rede coletora e pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) de estabelecer parâmetros bastante restritivos em relação ao recebimento de esgoto e lodo industriais em rede coletora e na própria ETE.

A efetividade desta política, levantada como fundamental ainda por BONNET (1995), pode ser avaliada pelos níveis de metais significativamente inferiores dos lotes reciclados em 2000 e 2001, comparados aos níveis observados por outros autores em anos anteriores nesta ETE (tabela 37). O lodo industrial antigamente aceito na ETE Belém, podem conter quantidades significativas de metais pesados, que acabam se concentrando no lodo.

É importante destacar que mesmo antes da restrição a lodos industriais, implementada no ano 2000, os teores destes elementos estavam abaixo dos limites normativos definidos pela I.N. IAP (tabela 37).

As descargas de lodos industriais através de caminhões limpa-fossa são responsáveis também pela variação dos elementos entre os lotes. Estas variações foram mais significativas para Cd e Hg, com redução dos níveis do primeiro e aumento do segundo. O monitoramento do lodo pode ser utilizado como instrumento de avaliação da qualidade das descargas de limpa fossa, principais responsáveis pela contaminação do lodo com metais pesados nesta ETE, e determinar a necessidade de implementação de um programa de fiscalização mais rígido para estas descargas.

Por exemplo, observa-se que os teores de Cr e Hg a partir do sexto lote de lodo (tabela 36) são significativamente superiores aos determinados nos lotes anteriores. Este aumento, embora não prejudique o destino final do lodo, certamente é resultante de contribuições industriais, provavelmente a partir dos caminhões limpa-fossa.

Comparados aos teores de metais identificados por MIYAZAWA et al. (1998) em esterco de bovinos, suínos e aves (tabela 38), o lodo apresentou concentrações semelhantes para o Cu, levemente superiores para Cr, Cd e Pb, e expressivamente superiores para o Ni, fruto das contribuições industriais. Para o Zn, os valores são ligeiramente superiores aos esterco de bovinos e aves, no entanto, muito inferiores ao de suínos. Mostrando que o lodo não oferece riscos maiores que os esterco animais de uso freqüente na agricultura, que são aplicados indiscriminadamente e sem limites.

TABELA 38. TEORES DE METAIS PESADOS EM ESTERCOS ANIMAIS UTILIZADOS NA AGRICULTURA NO PARANÁ

| Material | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|-------------------|------|------|-------|-----|------|---------|
| Esterco Bovino | 0,11 | 27,5 | 90,2 | 3,5 | 11,1 | 220,0 |
| Esterco de Aves | 0,33 | 15,9 | 72,8 | 2,6 | 5,6 | 151,0 |
| Esterco de Suínos | 0,58 | 19,3 | 230,0 | 4,0 | 19,6 | 1.670,0 |

FONTE: MIYAZAWA et al. (1998)

Comparado aos níveis de contaminação encontrados por SIMONETE et al. (2001) citado por MARQUES et al. (2001) em fertilizantes minerais em São Paulo (tabela 39), os teores de metais do lodo reciclado em Curitiba são substancialmente superiores aos encontrados na uréia e no cloreto de potássio, no entanto, bastante

próximos aos observados no supersimples. Embora as aplicações de lodo envolvam quantidades muito superiores as utilizadas para estes fertilizantes, considerando seu uso contínuo, anualmente, também pode oferecer riscos ao meio ambiente.

TABELA 39. TEORES DE METAIS PESADOS EM FERTILIZANTES MINERAIS

| Material | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Uréia | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 |
| Super Simples | 15,00 | 110,00 | 22,00 | 28,00 | 320,00 |
| Cloreto de Potássio | 2,00 | 6,00 | 15,00 | 12,00 | 39,00 |

FONTE: SIMONETE et al. (2001) citado por MARQUES et al. (2001)

Coerente com os dados de literatura (GSCHWIND et al., 1992; MIYAZAWA et al., 1999) o Zn é o elemento mais abundante no lodo da ETE-Belém. No entanto, é um micronutriente presente em níveis baixos na maioria dos solos paranaenses (MIYAZAWA et al., 1999). Assim, o lodo pode ser encarado como fonte alternativa de Zn, além de outros macro e micronutrientes. CHANEY et al. (1977) verificou correção de deficiências de Cu com o uso de lodo.

5.3.3.1 Qualidade do lodo reciclado em Curitiba frente às legislações internacionais

Os limites restritivos apontados pelas diversas legislações internacionais para controle destes elementos em lodos destinados a agricultura refletem posições políticas, ideológicas e ambientais peculiares a cada país. Como resultado, verificam-se grandes discrepâncias entre os níveis de controle entre as legislações de cada país. Por exemplo, o conteúdo de Cd que qualificam um lodo produzido nos EUA como "exceptional quality", que pode ser aplicado sem restrições na agricultura, é praticamente 49 vezes o máximo permitido em lodos da Dinamarca, para o lodo classe B a discrepância chega a 99,06% (tabela 40). É importante ressaltar que a metodologia de digestão das amostras definida nestas legislações é a digestão nítrica, utilizada também nas análises deste trabalho, portanto os resultados são totalmente passíveis de comparação.

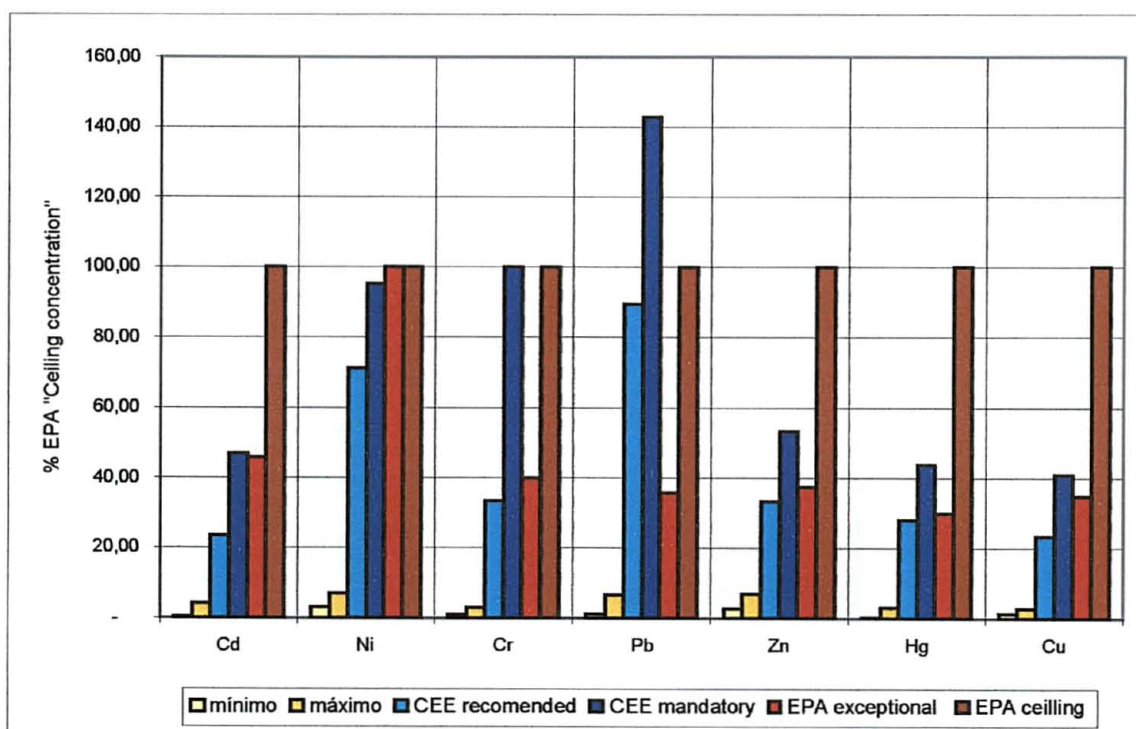
TABELA 40. DISCREPÂNCIA DE LIMITES DE METAIS PESADOS EM LODOS DE ESGOTO DEFINIDOS PELAS LEGISLAÇÕES MAIS E MENOS RIGOROSAS DO MUNDO.

| País / Legislação | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % em relação aos limites EPA "ceilling concentration" | | | | | | |
| HOLANDA | 1,47 | 7,14 | 2,50 | 11,90 | 4,00 | 8,33 | 1,74 |
| FINLANDIA | 3,53 | 7,14 | 10,00 | 17,86 | 6,67 | 3,51 | 11,63 |
| DINAMARCA | 0,94 | 7,14 | 3,33 | 14,29 | 53,33 | 1,40 | 23,26 |
| SUÉCIA | 2,35 | 11,90 | 33,33 | 11,90 | 10,67 | 4,39 | 13,95 |
| CEE recomendado | 23,53 | 71,43 | 33,33 | 89,29 | 33,33 | 28,07 | 23,26 |
| CEE máximo | 47,06 | 95,24 | 100,00 | 142,86 | 53,33 | 43,86 | 40,70 |
| EPA excepcional | 45,88 | 100,00 | 4,00 | 35,71 | 37,33 | 29,82 | 34,88 |
| EPA ceiling | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

FONTE: Adaptado de HALL (1998)

Na figura 3 comparam-se as maiores e menores concentrações de metais pesados identificadas entre os lotes de lodo reciclados em Curitiba entre 2000 e 2001 com as legislações da CEE e da EPA. Verifica-se que o lodo produzido na ETE Belém apresenta teores muito inferiores aos limites mais restritivos destas legislações.

FIGURA 3. PERCENTUAL RELATIVO DA MAIOR E MENOR CONCENTRAÇÃO DE Cd, Zn, Pb, Ni, Cu, Hg e Cr DOS LOTES DE LODO CALEADO RECICLADOS EM CURITIBA ENTRE 2000 E 2001, EM RELAÇÃO ÀS LEGISLAÇÕES EUROPEIA E AMERICANA.



Comparados aos limites de legislações européias mais restritivas, observa-se que o lodo reciclado em Curitiba atende ou está muito próximo aos limites para os elementos considerados mais nocivos: Pb, Ni Cr e Cd. Os teores de Cu e Zn não

atenderam apenas a normatização holandesa, enquadrando-se adequadamente em todas as outras. Ressalta-se contudo que estes dois elementos são micronutrientes importantes e freqüentemente suplementados através de adubações, não representando nas nossas condições de solo problemas, se adequadamente administradas as dosagens aplicadas.

É importante destacar que entre as diretrizes mais restritivas, observa-se que o controle sobre os teores de alguns metais chega ao extremo de estabelecer limites muito próximos e algumas vezes inferiores às concentrações naturais destes elementos no próprio solo do país. Na Suíça e na Holanda as restrições, com raras exceções, estão na mesma ordem de grandeza dos conteúdos do solo (ROGALLA, 1998), caracterizando a posição destas legislações pela política de restrição à utilização agrícola dos lodos.

Os resultados destas políticas foram, por um lado a melhoria da qualidade dos lodos, por outro a necessidade de adoção de outras alternativas de disposição, que podem ser tão ou mais impactantes sobre o meio ambiente que a reciclagem agrícola.

5.3.4 Estabilidade

O parâmetro utilizado para avaliar a estabilidade do lodo reciclado foi o teor de cinzas. Os teores verificados na liberação dos lotes são apresentados na tabela 41.

Verifica-se que todos os lotes atenderam aos limites mínimos estabelecidos pela IN IAP (29% de cinzas), embora alguns agricultores tenham reclamado do odor do lodo.

TABELA 41. TEOR CINZAS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO CALEADO DISTRIBUÍDO AOS AGRICULTORES ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC

| Lote | Teor de cinzas |
|-------|----------------|
| 1 | 39,99 |
| 2 | 37,79 |
| 3 | 37,32 |
| 4 | 36,20 |
| 5 | - |
| 6 | 50,96 |
| 7 | 51,91 |
| 8 | 50,10 |
| 9 | 50,86 |
| 10 | 35,15 |
| 11 | 62,96 |
| 12 | 51,33 |
| 13 | 63,38 |
| 14 | 42,04 |
| Média | 50,97 |

5.4 AVALIAÇÃO DAS PRÁTICAS DE USO E MANEJO

5.4.1 Culturas

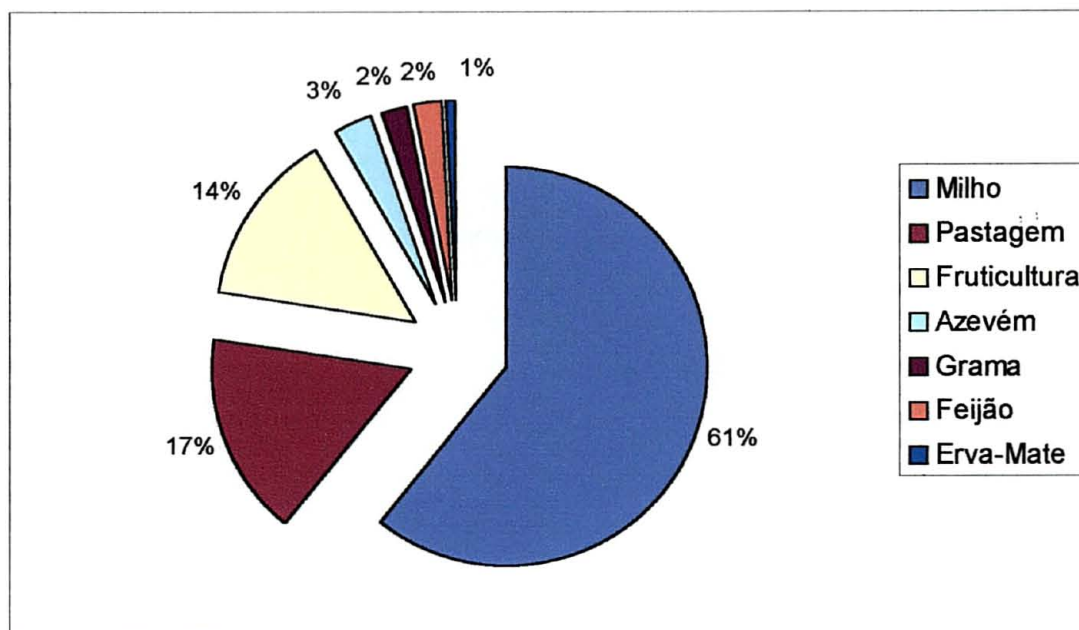
O milho foi a espécie mais cultivada nos solos utilizados para reciclagem do lodo, ocupando 252,90 ha dos 486,5 ha em que o material foi aplicado, seguido pelas pastagens, renovação ou plantio, fruticultura, grama, feijão e erva-mate (tabela 42).

TABELA 42. CULTURAS E ÁREA (HA) FERTILIZADA COM LODO CALEADO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002

| Culturas | Área Cultivada com lodo ha | Percentual % |
|---|-------------------------------|-----------------|
| Milho (<i>Zea mays</i> L.) | 252,90 | 54,33 |
| Pastagens (gramíneas) | 127,00 | 24,83 |
| Fruticultura: | | |
| Caqui (<i>Diospyros kaki</i>) | 42,20 | 8,25 |
| Ameixa (<i>Prunus domestica</i>) | | |
| Pêssego (<i>Prunus persica</i>) | | |
| Azevém (<i>Lolium trifolium</i>) | 24,50 | 4,79 |
| Grama Esmeralda (<i>Paspalum sp</i>) | 17,00 | 3,32 |
| Feijão (<i>Phaseolus Vulgaris</i>) | 15,00 | 2,93 |
| Erva-mate (<i>Ilex paraguayensis</i>) | 7,90 | 1,55 |
| Total | 486,50 | 100,00 |

As gramíneas, incluindo milho, pastagens e grama, foram cultivadas em 87,22 % (421,40 ha) da área e consumiram 82,8% do total de lodo (3.753,52 t M.S.) disponibilizado aos agricultores entre setembro de 2000 e março de 2002 (figura 4).

FIGURA 4. UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO DA ETE BELÉM ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002



O uso do lodo nas lavouras de milho, pastagens e frutíferas absorveu aproximadamente 95% do material disponibilizado aos agricultores, confirmando as expectativas de BOTTEGA e NASCIMENTO (1999), que destacaram estas culturas como as de maior potencial e receptibilidade para uso de lodo na RMC.

A aplicação não foi direcionada especificamente para estas culturas, elas se destacaram no início pelo interesse do agricultor. Algumas observações podem ser levantadas quanto as razões pela ênfase nestas culturas:

- a) São culturas bastante difundidas na RMC estando presentes na maioria das propriedades agrícolas, especialmente a lavoura de milho, que ocupa 46.447 ha, nas regiões de Mandirituba, Araucária, Fazenda Rio Grande, Campo Largo, Balsa Nova e Contenda, principais municípios onde o lodo vem sendo utilizado.

b) Segurança sanitária dos produtos colhidos:

- nas lavouras de milho, geralmente, todas as operações são realizadas mecanicamente e a colheita se processa entre 4,5 e 6 meses após o plantio (5 a 10 meses após aplicação do lodo em média), e o produto colhido não tem contato com o solo e normalmente é seco à altas temperaturas para estocagem.
- nas pastagens, o período de estabelecimento, normalmente, tem se prolongado por período superior ao prazo de carência exigido pela normatização (60 dias atualmente, ampliados para 75 dias com reavaliação), e o lodo tem sido aplicado e incorporado ao solo.
- em pomares e essências florestais o lodo é aplicado em covas ou sulcos e incorporado ao solo, assim, os riscos de infecção se expressam apenas na aplicação, normalmente manual, e os produtos colhidos não tem contato com o solo, garantindo a segurança sanitária.

c) Respostas expressivas e observadas com rapidez:

- nas condições de solo em que normalmente o material tem sido empregado associam-se deficiências de pH, saturação de bases, Ca, Mg e muitas vezes aplicação limitada de fertilizantes; condições em que as taxas de aplicação utilizadas melhoram significativamente as propriedades químicas do solo, e resultam em desenvolvimento e produtividade algumas vezes mais expressivos que os usuais na região.
- economia com fertilizantes e corretivos

d) São culturas que apresentam grande demanda de Nitrogênio, permitindo a recomendação de dosagens altas de lodo e redução da necessidade de áreas para disposição.

As gramíneas, do ponto de vista agrônomo, são interessantes pela alta eficiência na absorção de nutrientes, especialmente o nitrogênio, removido com rapidez a medida que é liberado para a solução do solo a partir da mineralização do lodo. Do ponto de vista ambiental, esta característica reduz os riscos de lixiviação na forma de N-NO_3 e possível contaminação do lençol freático.

Resultados significativos com a utilização de lodo de esgoto em culturas de gramíneas são apontadas por diversos autores: milho e arroz (BETTIOL et al., 1983), milho (BISCAIA e MIRANDA, 1996; DESCHAMPS et al. (1997); FAVARETTO et al., 1997; LOURENÇO et al., 1995; BOTEGA e NASCIMENTO, 1999; CANZIANI et al., 1999; SILVA et al., 2000; SANEPAR, 1997), milheto e aveia DA ROS (1993); aveia e azevém (LUCCHESI, 1997), sorgo (DE FELIPO et al., 1991; OLIVEIRA et al., 1995), cana-de-açúcar (MELO, 1994; MARCHIORI JUNIOR et al., 1998), pastagem de festuca (STROO e JENCKS in ANDREOLI, 1999), milho silagem e grãos (CLAPP et al., 1994) e forrageiras (SOPPER, 1993; USEPA, 1997).

Resultados satisfatórios também são apontados para leguminosas: Feijão (LOURENÇO et al., 1995; DESCHAMPS e FAVARETTO, 1998; MIYAZAWA et al., 1996); girassol (DESCHAMPS e FAVARETTO, 1998), soja (HECKMAN et al., 1987), ervilhaca (DA ROS, 1993). Na prática, verificou-se pouco interesse dos agricultores para utilização de lodo em leguminosas, apenas 4 agricultores utilizaram lodo para a produção de feijão, cultura bastante difundida na RMC.

Experimentos com fruticultura (DESCHAMPS e MORAES, 2000; BOTTEGA e NASCIMENTO, 1999) e essências florestais (MELO e MARQUES, 2000) também tem apresentado bons resultados.

O cultivo de cereais de maneira geral, gramíneas e leguminosas, se mostra interessante do ponto de vista sanitário pela forma de consumo, raramente "in natura", minimizando o potencial de contaminação humana. ANDREOLI et al.(2001) também destaca benefícios para as culturas e riscos sanitários baixos quando os biossólidos são aplicados em culturas de cereais. Para USEPA (1997) a utilização de cereais e forragens é interessante também, por reduzir as áreas necessárias para disposição, uma vez que são culturas com grande demanda de N.

A utilização em forrageiras requer por parte dos agricultores a observação de um prazo de carência mínimo de 60 dias (IN do IAP) após a aplicação para entrada dos animais na pastagem, com o propósito de garantir segurança sanitária aos animais e consumidores de carne. Em nível mundial não há concordância entre as diversas

legislações sobre o período conveniente de espera. No Canadá o período varia de dois meses (para gado e eqüinos) a seis meses, para ovinos e suínos (EPS, 1984). No Reino Unido aguarda-se três a cinco semanas para a liberação do pasto a gado leiteiro. Na França recomenda-se um período de carência de seis a oito semanas antes da disponibilização da área a quaisquer animais. Nos EUA, para bio-sólidos que atendem os níveis de higienização classe A não são definidos períodos de carência para nenhuma cultura, para bio-sólido classe B, o período mínimo é de 30 dias em pastagens, culturas de fibras e alimentos para animais ou consumo humano (USEPA, 1997).

A recomendação de um programa de desvermifugação para os animais criados em pastagens adubadas com lodo pode ser adotada como medida adicional para minimização dos riscos de infecção, uma vez que estes animais têm contato direto com o solo durante o pastejo. A administração do vermífugo próximo ao dia de reentrada dos animais no pasto assegura que os parasitos ingeridos não se alojem no sistema digestivo dos animais. Estes produtos normalmente são de baixo custo e de fácil aquisição no comércio.

A fruticultura apresentou-se como um mercado de potencial expressivo, principalmente nos períodos de menor demanda para as culturas anuais (dezembro a março). As recomendações de adubação destas culturas normalmente prescrevem aplicações elevadas de material orgânico, tanto na implantação quando na manutenção anual, admitindo assim aplicações mais volumosas. Do ponto de vista do produtor a utilização do lodo representa substituição do esterco animal, normalmente de aves poedeiras ou bovinos, de custo elevado na RMC, pelo lodo, material entregue na propriedade sem ônus.

Para aplicação em pomares implantados, o lodo foi entregue aos agricultores nos meses de dezembro a março de 2001 e 2002, para ser aplicado em Ameixa e Pêssego. A aplicação em pomares formados é realizada em sulcos na projeção da coroa das árvores e incorporado ao solo, o intervalo entre aplicação e tratos culturais de inverno foi de 5 a 7 meses e em relação à colheita seguinte 7 a 10 meses, reduzindo

os riscos de contaminação com patógenos para os trabalhadores e para os produtos colhidos. Para implantação do pomar, até março de 2002 havia sido solicitado apenas um lote, no mês de junho. Um único lote foi aplicado em novembro, em cultura de caqui, cerca de três meses antes da colheita.

As experiências no cultivo de grama, realizadas no início das atividades de reciclagem, se mostraram pouco promissoras, contrariando as expectativas de SOUZA et al. (1994) e BONNET (1995), que apontaram esta cultura como um dos mercados de melhor potencial na RMC.

Foram aplicados no total 467 t de lodo (17,43% M.S.) em 17 ha, entre os meses de outubro de 2000 e fevereiro de 2001, numa taxa de aplicação média de 4,8 t M.S./ha. Curiosamente, as glebas adubadas com lodo apresentaram elevadas perdas, mais de 50% segundo o agricultor e funcionários. Esta situação não foi observada no campo, apenas por relatos do produtor e de seus funcionários, que verificaram que as leivas se desmanchavam durante o processo de colheita. Este fato provavelmente tenha sido provocado por falta de compactação do terreno na implantação da cultura, e não devido ao uso do lodo, que nestas dosagens, embora tenha sido a justificativa apresentada pelo produtor.

5.4.2 Época de aplicação e sazonalidade da demanda de lodo

As culturas não apresentaram sazonalidade de demanda por lodo bem definida durante o período analisado (setembro de 2000 e março de 2002), como se verifica na tabela 43.

TABELA 43. SAZONALIDADE DA DISTRIBUIÇÃO DE LODO CALEADO EM FUNÇÃO DAS CULTURAS ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC.

| Culturas | Meses | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| | Ha | | | | | | | | | | | |
| Milho | | 2,10 | 37,50 | | 29,00 | 23,50 | 53,00 | 41,50 | 13,70 | 2,50 | 24,50 | 25,60 |
| Pastagem | 44,50 | 21,00 | 3,00 | 57,00 | 20,00 | | | | | | | 3,00 |
| Erva mate | 1,50 | 0,25 | | | | 1,20 | | | | 5,00 | | |
| Feijão | 6,00 | | | | | | 9,00 | | | | | |
| Gramma | 4,50 | 1,50 | | | | | 2,00 | | | 6,00 | | |
| Fruticultura | 2,60 | 17,60 | 1,50 | | | 6,00 | 2,50 | | | | 6,00 | 6,00 |
| Total | 59,10 | 42,45 | 42,00 | 57,00 | 49,00 | 30,70 | 66,50 | 41,50 | 13,70 | 13,5 | 30,50 | 34,60 |

O período pequeno de avaliação, pouco mais de um ano e meio e a grande instabilidade na produção de lodo para reciclagem, variando significativamente de mês para mês (tabela 30) impedem uma análise com precisão do fator sazonalidade.

Outro ponto a ser observado é a pequena oferta em contraposição a grande demanda levantada através da divulgação da EMATER, criando um déficit de lodo na região, e na necessidade escalonamento da distribuição para período de estressafr de 2002.

Entre as culturas, o milho apresenta-se, aparentemente, como a principal espécie controladora da demanda nos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro (tabela 42). As demais culturas destacam-se principalmente nos meses de janeiro, fevereiro, abril e maio, representando alternativa importante de escoamento da produção nos períodos de baixa demanda do milho.

Esta observação confirma em parte as expectativas de BOTTEGA e NASCIMENTO (1999) e ANDREOLI e PEGORINI (1998), que previam período de menor demanda entre setembro e março em função da safra das espécies anuais.

A flexibilização desta expectativa provavelmente seja resultado da oferta limitada de lodo, com os agricultores solicitando o material com bastante antecedência, para garantir o recebimento. Deve-se ainda ao pousio de inverno praticado pela maioria dos agricultores da região, e que possibilita a extensão do período de aplicação do lodo por estes períodos.

Com o aumento da oferta de lodo e a estabilização da demanda, a tendência é de que se definam mais nitidamente os padrões de sazonalidade, que devem

acompanhar os períodos usuais de preparo do solo, fertilização, implantação e colheita das culturas. A sazonalidade poderá ser influenciada ainda pelas oscilações climáticas anuais, como períodos chuvosos e secos, o primeiro impedindo tanto a distribuição quanto a aplicação e o último a incorporação.

5.4.3 Taxas de aplicação

5.4.3.1 Metodologia de recomendação

Analisando a metodologia de recomendação das taxas de aplicação do programa de reciclagem observa-se que os cálculos estão baseados no conteúdo de nutrientes do lodo, no seu potencial como corretivo do solo, e na demanda de nutrientes da cultura, principalmente nitrogênio.

A fração de disponibilidade de nitrogênio do lodo utilizada nos cálculos é de 50 % do N total encontrado no lodo, seguindo as diretrizes da I.N. IAP e as recomendações de SANEPAR (1997). Outros autores tem apontado disponibilidade próxima a 35%, baseada na taxa de mineralização da fração orgânica do elemento e na volatilização de parte N amoniacal quando o lodo é aplicado na agricultura (RAIJ, 1998; BATAGLIA et al., 1983). USEPA (1997) estima a taxa de mineralização do N orgânico de lodos aeróbios em 30% no primeiro ano de aplicação, reduzindo para 15%, 8 % e 4% nos anos seguintes. Na ausência de informações mais precisas obtidas regionalmente, a adoção da fração de disponibilidade de 50% do N total do lodo representa, do ponto de vista ambiental, uma margem de segurança para o risco de contaminação do lençol freático.

O poder corretivo do material é estimado na metodologia como 50% do poder corretivo do calcário PRNT 100%. Assim, a taxa de aplicação também foi limitada em função da necessidade de correção dos solos onde o lodo foi utilizado, evitando a elevação do pH a níveis impróprios

Em nível internacional os principais fatores limitados pelas legislações, além do N, são as adições P e metais pesados. Este trabalho analisou as cargas destes elementos aos solos adubados com lodo entre setembro de 2000 e março de 2002 na RMC visando avaliar se a metodologia de recomendação empregada atende a estes parâmetros e a necessidade de sua inclusão nos relatórios do programa.

5.4.3.2 Quantidades aplicadas: Nitrogênio e Lodo (Matéria Seca - M.S)

A tabela 44 apresenta as taxas média, máxima e mínima de lodo utilizadas nas culturas de milho, feijão, azevém, pastagens, fruticultura e erva-mate fertilizadas com lodo entre setembro de 2000 e março de 2002. São apresentados também as quantidades de N adicionadas via lodo de esgoto.

TABELA 44. TAXAS MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS DE APLICAÇÃO DE LODO CALEADO (T M.S./HA) EMPREGADAS NAS CULTURAS FERTILIZADAS COM LODO ENTRE SET/2000 E MAR/2002.

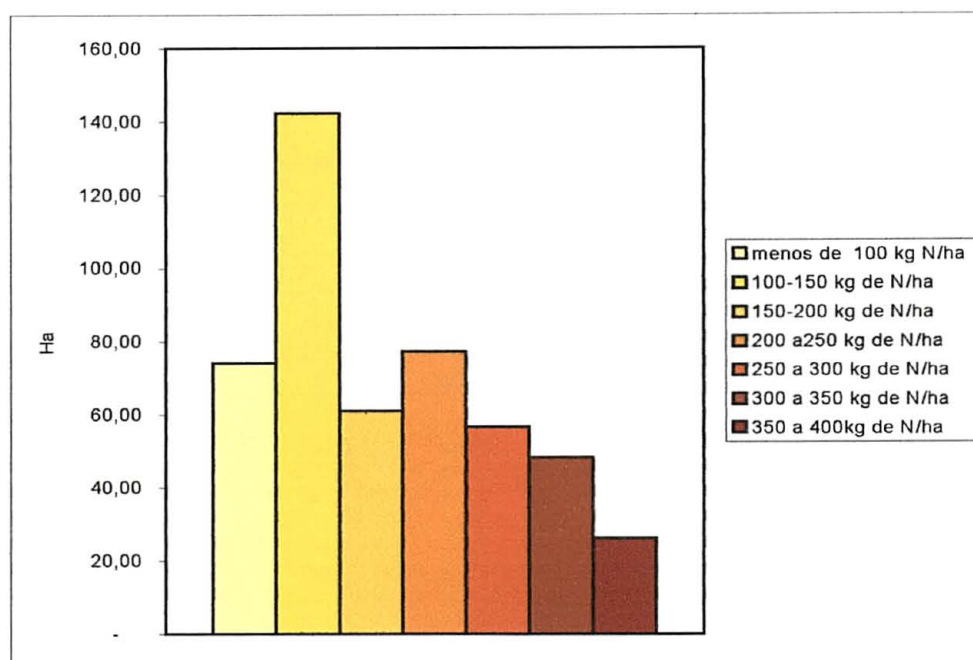
| Cultura | Taxa | Lodo | | Teor de N do lodo | N aplicado |
|--------------|--------|-------------|-------------|-------------------|---------------|
| | | t úmidas/ha | t M.S. / ha | % N (M.S.) | Kg N total/ha |
| Milho | média | 46,16 | 8,71 | 2,91 | 225,45 |
| | máximo | 117,86 | 21,13 | 4,51 | 380,37 |
| | mínimo | 14,00 | 2,50 | 1,57 | 52,07 |
| Feijão | média | 36,83 | 7,94 | 2,67 | 204,85 |
| | máximo | 43,33 | 8,93 | 2,74 | 244,59 |
| | mínimo | 3,00 | 6,72 | 2,45 | 164,64 |
| Azevém | média | 25,96 | 5,01 | 2,26 | 113,13 |
| | máximo | 26,67 | 5,36 | 2,53 | 135,62 |
| | mínimo | 25,42 | 4,64 | 1,92 | 89,13 |
| Grama | média | 27,51 | 4,80 | 1,88 | 90,14 |
| | máximo | 3,00 | 5,18 | 2,01 | 104,14 |
| | mínimo | 25,30 | 4,45 | 1,57 | 70,03 |
| Pastagem | média | 29,16 | 5,60 | 2,46 | 137,84 |
| | máximo | 48,93 | 8,63 | 4,51 | 201,43 |
| | mínimo | 24,00 | 4,47 | 1,57 | 90,10 |
| Erva-mate | média | 22,01 | 4,35 | 2,38 | 103,34 |
| | máximo | 4,00 | 8,40 | 2,74 | 225,78 |
| | mínimo | 12,00 | 2,07 | 1,57 | 41,66 |
| Fruticultura | média | 38,40 | 14,02 | 2,55 | 175,45 |
| | máximo | 68,82 | 14,18 | 2,74 | 388,45 |
| | mínimo | 16,67 | 2,98 | 1,57 | 55,36 |
| Média Geral* | | 41,61 | 7,98 | 2,74 | 218,17 |

*MÉDIA PONDERADA EM RELAÇÃO AO TAMANHO DAS ÁREAS

Verifica-se que as dosagens de lodo utilizadas foram bastante variáveis, em média $7,98 \pm 4,58$ t M.S./ha, no entanto estão dentro das perspectivas apontadas pela literatura: BETTIOL et al. (1983) utilizaram 9 t M.S./ha para arroz e milho; BOTEGA e NASCIMENTO (1999) utilizaram em média 6 t M.S./ha em trabalhos na RMC; BISCAIA e MIRANDA (1996) aplicaram até 10,8 t M.S./ha (úmido) e obtiveram produtividade de milho acima de 5 t/ha; LOURENÇO et al. (1995) obtiveram produtividade máxima de feijão com 7,88 t M.S./ha; DESCHAMPS et al. (1997) aplicando 9,6 t M.S./ha obtiveram produtividade de milho de acima de 7.500 kg/ha; CLAPP et al. (1994) verificaram ao longo de 20 anos produtividade de milho grãos acima de 8,0 t/ha aplicando 11 t/M.S./ha, para forrageiras aplicaram 15 t M.S./ha para obter 17 t M.S./ha; MARCHIORI Jr. et al.(1998) encontraram maior produtividade de cana-de-açúcar aplicando 160 t (úmidas)/ha; SOUZA et al. (1998) aplicaram 9,94 t M.S./ha para produtividade de 5,10 t/ha de milho; FAVARETTO et al. (1997) utilizaram dose de até 4,8 t M.S./ha para atender produtividade de milho de 4,3 t/ha, enquanto DESCHAMPS e FAVERETTO (1998) utilizaram 3,2 t M.S./ha para 1.100 kg/há de sementes de girassol e 1.462 kg/ha de feijão.

As aplicações de N, apontadas pela literatura como principal fator de limitação às dosagens de lodo, adicionaram em média 201,33 kg N total/ha e apresentaram-se bastante variáveis. Em 88,9 % das lavouras, totalizando 411,35 ha (84,67 % da área utilizada) as doses estiveram abaixo de 300 Kg/ha, e apenas em 74,20 ha (15,33% da área utilizada) as aplicações excederam este patamar (figura 5).

FIGURA 5. FAIXA DE NITROGÊNIO TOTAL APLICADO ATRAVÉS DE LODO DE ESGOTO CALEADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS ADUBADAS COM O RESÍDUO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC.



As recomendações foram baseadas em lavouras de alta produtividade e seguiram o manual da Comissão de Fertilidade do Solo -RS/SC (1989) prevendo aplicações entre 80 e 150 kg N/ha disponível para as culturas. O fator de disponibilidade adotado foi o definido por SANEPAR (1997), prevendo disponibilidade de 50% do N total aplicado para as culturas, ou seja, taxas de aplicação entre 160 e 300Kg de N total/ha. Apenas em 15,33% (74,45 ha) da área total fertilizada com lodo, a dosagem foi superada.

As dosagens utilizadas (figura 6 e tabela 43) estão de acordo com revisão realizada por CANTARELLA (1993) sobre adubação de milho, que aponta aplicações variando de 80 a 300 Kg/ha de N mineral no Brasil. As dosagens recomendadas também variaram em função do nível tecnológico proposto aos agricultores, variando de baixas dosagens entre agricultores de subsistência a altas aplicações para agricultores com maior potencial.

As aplicações de N estão em concordância ainda com os parâmetros definidos pela USEPA (1997), que prevê aplicações de até 260 Kg de N disponível/ha

para lavouras de milho. CLAPP et al. (1994) em lavoura de milho com produtividade média de 8,4 t/ha de grãos utilizaram aplicações de 475 Kg de N total/ha.

Alguns países estabeleceram limites anuais de aplicação de nitrogênio, como no Reino Unido e Dinamarca, 250 Kg de N/ha (McGRATH et al., 1994). Esta restrição, no entanto, não é específica apenas a adubações com lodo, mas a qualquer fonte de N, mineral ou orgânica, apenas adequando a utilização agrícola do lodo aos critérios de fertilizantes existentes naqueles países. Esta limitação reflete, a grande dependência destas nações das águas subterrâneas para abastecimento público e da limitação de área para produção de alimentos.

Quanto a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas, levantado principalmente nas aplicações que excedem 300 Kg de N/ha, ANJOS (1999) aponta riscos em dosagens maiores, não encontrando lixiviação de N-NO₃ com aplicação de 678 Kg N total/ha via lodo, no entanto avaliou período de apenas 25 dias após a aplicação. OLIVEIRA et al. (1995) sugere que até 47,5 % do N adicionado via lodo, com aplicações de até 150 t (26,6% M.S./ha) pode ser perdido para camadas abaixo de 40 cm, apresentando sérios riscos, principalmente para solos arenosos.

Observa-se que as taxas de aplicação apresentaram grande variabilidade, não apenas entre as diferentes culturas, como esperado, mas também para uma mesma cultura. Esta variabilidade é consequência principalmente da necessidade de correção dos solos. Muitos produtores tem manifestado interesse em adquirir o lodo pensando no poder corretivo do material, fato evidenciado pelo grande número de glebas beneficiadas com saturação de bases inferior a 50%.

5.4.3.3 Quantidades de metais pesados aplicadas aos solos através do lodo.

As quantidades dos elementos Cd, Pb, Ni, Hg, Cr, Zn e Cu adicionadas aos solos adubados com lodo no período avaliado estão sistematizados na tabela 45. Também são apresentados os limites máximos de carga de metais em solos agrícolas pela Diretiva da Comunidade Econômica Européia e pela USEPA.

TABELA 45. RESULTADOS ESTATÍSTICOS DAS CARGAS DE Cd, Pb, Ni, Hg, Zn E Cu APLICADAS AOS SOLOS ADUBADOS COM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC NO PERÍODO DE SETEMBRO DE 2000 A MARÇO DE 2002 ELIMITES ANUAIS DE CARGA DAS LEGISLAÇÕES DEE E USEPA.

| | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|--------|-----------|
| | g/ha | | | | | | |
| Média Aritmética | 8,57 | 148,06 | 295,73 | 213,61 | 2.764,18 | 6,69 | 607,44 |
| Desvio Padrão | 5,10 | 55,28 | 172,71 | 136,14 | 1.317,55 | 6,11 | 303,96 |
| Carga máxima aplicada | 28,18 | 347,18 | 987,36 | 838,51 | 9.426,26 | 25,99 | 2.125,65 |
| Menor carga aplicada | 3,23 | 31,85 | 78,34 | 35,26 | 442,58 | - | 132,18 |
| Limite CEE * | 150,00 | 3.000,00 | | 15.000,00 | 30.000,00 | 100,00 | 12.000,00 |
| Limite USEPA* | 1.900,00 | 21.000,00 | 150.000,0 | 15.000,00 | 140.000,00 | 85,00 | 75.000,00 |

* FONTE Mc GRATH et al. (1994); SANTOS (2001)

Observa-se que as quantidades aplicadas de todos os elementos foram muito inferiores aos limites máximos definidos nestas legislações, mostrando segurança para os solos e produtos cultivados.

O controle das cargas de metais adicionadas aos solos é fundamental num programa de reciclagem agrícola de lodo, uma vez que as conseqüências a longo prazo do acúmulo destes elementos nos solos não são conhecidas por completo e constituem tema bastante polêmico entre a comunidade científica nacional e internacional. É importante destacar ainda que a proteção dos solos e culturas não pode ser estabelecida em função de prazos, como 10, 20 ou 100 anos. Ela deve ser garantida para "sempre".

Considerando os níveis de contaminação mais elevados dos elementos Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, Cr e Hg no lodo reciclado na RMC, a quantidade de lodo necessária para que os limites de carga anuais da CEE fossem atingidos seria no mínimo 32,05 t M.S., limitada pelo Hg (tabela 46).

TABELA 46. QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO CALEDADO PRODUZIDO NA ETE BELÉM NECESSÁRIA PARA ATINGIR OS LIMITES DE CARGA ANUAL MÁXIMA DE METAIS PERMITIDOS PELA EPA, CONSIDERANDO OS MAIORES TEORES DE METAIS DOS LOTES RECICLADOS.

| | Unidade | Cd | Ni | Cr | Pb | Zn | Hg | Cu |
|---------------------------------------|------------------|--------------|---------------|----------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| Maiores teores no lodo | mg/kg | 3,60 | 29,00 | 89,30 | 55,35 | 527,00 | 3,12 | 117,20 |
| Limite de carga anual ¹ | Kg/ha | 0,15 | 3,00 | | 15,00 | 30,00 | 0,10 | 12,00 |
| Quantidade de lodo² | t M.S./ha | 41,67 | 103,45 | - | 271,00 | 56,93 | 32,05 | 102,39 |

¹ Mc GRATH et al. (1994)

² Quantidade de lodo necessária para atingir o limite máximo

Para os teores médios apontados na tabela 35, o elemento limitante seria o Zn, demandando uma aplicação única de 78,13 t M.S. de lodo / ha, 156 % superior ao limite máximo de aplicação definido pela I.N. IAP em dez anos: 50 t M.S./ha.

Verifica-se, assim, que os metais pesados não constituem risco expressivo para as condições de qualidade e nas taxas de aplicação práticas na RMC. Recomenda-se, contudo, que as cargas de metais aplicadas aos solos sejam calculadas e apontadas nos relatórios, como garantia da qualidade do programa.

5.4.3.4 Quantidades de fósforo aplicadas

A quantidade média de fósforo aplicado aos solos através do lodo foi de 49,65 kg de P total / ha, variando de 16,37 a 194,41 kg de P total/ha. As aplicações superaram 100 kg/ha apenas em 3 áreas, representando menos de 8% da terras adubadas com lodo na RMC (tabela 47).

TABELA 47. FÓSFORO TOTAL APLICADO ATRAVÉS DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS ADUBADAS COM O RESÍDUO ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002 NA RMC.

| P Total Aplicado | Áreas de aplicação | | |
|---------------------|--------------------|---------------|---------------|
| | número | Ha | % |
| Menos de 50 kg/ha | 39 | 327,50 | 67,28 |
| 50 a 100 kg/ha | 19 | 120,70 | 24,79 |
| acima de 100 kg/ha | 3 | 38,30 | 7,93 |
| Total | 61 | 486,50 | 100,00 |

Observa-se que embora o nitrogênio e a correção dos solos tenham sido utilizadas como referência na determinação das taxas de aplicação de lodo, na maioria das áreas o suprimento de fósforo foi significativo, no entanto, abaixo das recomendações agronômicas usuais para as culturas em que vem sendo empregado.

A fração de disponibilidade do fósforo total adicionado através do lodo é considerada como 50 % tanto pela EPA (USEPA, 1997) quanto por SANEPAR (1997). Para os padrões de aplicação utilizados, o suprimento do elemento através do lodo representa economia significativa de fertilizantes minerais, considerando que o fósforo é o elemento fertilizante de maior custo na região.

Mesmo nas áreas onde a aplicação excedeu 100 kg de P total /ha, as características de fixação e imobilidade (RAIJ, 1991; RAIJ, 1998) do elemento no solo eliminam os riscos de contaminação do lençol freático. Os maiores problemas são provocados pelo arraste do material no processo erosivo e escoamento superficial.

É importante destacar, porém, que dois fatores foram decisivos para a limitação das cargas de fósforo ao solo:

- a) os teores relativamente baixos no lodo (tabela 32)
- b) o fator de disponibilidade do N, considerado 50% do N total do lodo.

A redução do fator de disponibilidade concorrerá para o aumento das taxas de aplicação e consequentemente para maior carga de P aos solos.

Verifica-se, assim, que para as condições de aplicação do lodo nos anos de 2000, 2001 e 2002 analisadas neste trabalho, as quantidades de P não foram limitantes ao processo. Sugere-se contudo que nos relatórios futuros as aplicações do elemento também sejam monitoradas.

Portanto, para as condições das áreas onde o lodo foi aplicado na RMC entre 2000 e 2002, observa-se que os principais fatores de limitação às taxas de utilização do lodo estão associadas ao nitrogênio e ao poder corretivo do material. As quantidades de metais e fósforo adicionadas não se apresentaram limitantes ao processo.

5.4.4 Características das áreas agrícolas adubas com lodo

5.4.4.1 Aptidão das terras

A seleção das áreas para aplicação de lodo é realizada a campo, e segue as diretrizes propostas por SOUZA et al. (1994) para classificação da aptidão das terras para uso de lodo de esgoto.

O sistema estabelece três níveis categóricos: classe, subclasse e unidade de aptidão. As classes representam o nível de classificação mais elevado do sistema e consideram cinco níveis, relacionados ao grau de limitação de uso. As subclasses estão associadas ao fator ou fatores de limitação ou impedimento mais importantes à aplicação de lodo, normalmente relacionados aos riscos de contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, ao comportamento do solo e à motomecanização. As unidades de aptidão são o maior nível de detalhamento do sistema e caracterizam o

grau de limitação determinado pelo fator ou fatores que a definem (subclasses de aptidão). A tabela 48 apresenta as principais características do sistema, resumido no anexo 2.

TABELA 48. SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DE TERRAS AO USO DE LODO DE ESGOTO UTILIZADO NA SELEÇÃO DAS ÁREAS PARA APLICAÇÃO DE LODO NA RMC.

| Classes de Aptidão | Subclasses (fatores de limitação) | grau de limitação |
|--|--|--|
| I. potencial muito alto; II. potencial alto; III. potencial moderado; IV. baixo; V. inaptos. | PR. Profundidade; TE. textura; ER. suscetibilidade à erosão; DR. drenagem; RE. relevo; PE. pedregosidade; HI. hidromorfismo; FE. fertilidade. | 1. nulo 2. ligeiro; 3. moderado; 4. forte; 5. muito forte. |

FONTE: Adaptado de FERNANDES, F. et al. (2000)

A aptidão propriamente dita é definida em função do fator que represente maior restrição ao uso do lodo. A classificação da aptidão das terras é utilizado como critério de seleção das propriedades para aplicação do lodo, e constitui exigência da I.N. IAP.

Entre os países europeus que realizam disposição agrícola de lodo, com exceção da França, a seleção das áreas é orientada apenas por recomendações aos sítios de aplicação. O sistema Francês é uma adaptação do sistema elaborado por Souza et al. (1994) para as condições do país. Nos EUA a USEPA faz recomendações e exige caracterização dos solos quanto a relevo, drenagem, profundidade e proximidade a corpos hídricos apenas para aplicação de lodos classe “B” (USEPA, 1997), de perfil sanitário significativamente inferior ao lodo reciclado na RMC.

Em relação ao programa de reciclagem agrícola do lodo de França, as restrições aos sítios de aplicação na RMC são mais rigorosos, em SP as avaliações considerem apenas declividade e profundidade do solo e localização área de aplicação.

A partir da análise do cadastro dos produtores que receberam lodo, verificou-se que o relevo foi o fator mais limitante entre as glebas utilizadas, determinando a classificação em , seguido pela suscetibilidade à erosão, fertilidade, pedregosidade e hidromorfismo (tabela 49). Nenhuma das glebas classificadas como grau de limitação

quatro ou cinco foram utilizadas pelo programa.

TABELA 49. FATORES E GRAU DE RESTRIÇÃO DAS ÁREAS UTILIZADAS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2001 E MARÇO DE 2002.

| Grau de restrição | Relevo | Erosão | Fertilidade | Pedregosidade | Hidromorfismo | Profundidade | Textura | Drenagem |
|-------------------|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | % das terras utilizadas | | | | | | | |
| 1,00 | 18,52 | 5,56 | 51,85 | 72,22 | 92,59 | 66,67 | 37,04 | 72,22 |
| 2,00 | 12,96 | 59,26 | 40,74 | 25,93 | 3,70 | 33,33 | 62,96 | 27,78 |
| 3,00 | 68,52 | 35,19 | 7,41 | 5,56 | 3,70 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| total | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

O grau de restrição 3 para relevo indica glebas em relevo ondulado, com declividade entre 8 e 20%. Esta faixa de declividade, associada a rampas curtas é característico na RMC e de forma generalizada a todo o primeiro planalto paranaense, como descrito por e devido a própria composição litológica da região, na qual predominam rochas metamórficas LICHT e TARVAINEN (1996).

O relevo da região, segundo MAACK (1968) é aplainado no conjunto, porém no detalhe mostra feição moderadamente acidentado, ou seja um relevo ondulado. A paisagem é constituída por colinas baixas e arredondadas, nas porções formadas sobre o Complexo Cristalino e regiões mais aplainadas, enquanto topografia quase tabuliforme é característica da Formação Guabirotuba.

O relevo e a susceptibilidade ao processo erosivo já haviam sido caracterizados por SOUZA et al. (1994) como os principais fatores restritivos para utilização agrícola de lodo na RMC.

As propriedades em que o lodo foi aplicado localizam-se principalmente na porção sul, sudoeste e oeste da RMC, nos municípios de Fazenda Rio Grande, Mandirituba, Contenda, Balsa Nova, Campo Largo, Araucária, São José dos Pinhais, onde estas características de relevo predominam, como se verifica pela média do grau de restrição deste fator entre os municípios onde foi aplicado lodo(tabela 50). Também caracterizam-se como os municípios com a maior proporção de terras aptas para disposição de lodo segundo levantamento de SOUZA et al. (1994).

TABELA 50. FATOR MÉDIO DE RELEVO DOS DISTRITOS ONDE LOCALIZAM-SE AS ÁREAS FERTILIZADAS COM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002.

| Município | Médio do grau de restrição do fator relevo | Área Aplicada (ha) | Distrito |
|----------------------|--|--------------------|-----------------------|
| Fazenda Rio Grande | 3,00 | 204,50 | Faz. Iguaçu |
| | 2,00 | | BR-116 |
| | 1,50 | | Passo amarelo |
| | 2,00 | | Parque Verde |
| Campo Largo | 3,00 | 63,50 | Bateias |
| | 3,00 | | Colônia Balbino Cunha |
| Araucária | 1,50 | 43,60 | Guajuvira |
| | 3,00 | | Onças |
| | 3,00 | | Rio Abaixo |
| Contenda | 2,00 | 56,00 | Camandá |
| Mandirituba | 3,00 | 45,10 | Campestre |
| | 1,50 | | Guapiara |
| | 3,00 | | Santo Amaro |
| | 3,00 | | Matos |
| Balsa Nova | 3,00 | 26,30 | Rio Verde |
| | 3,00 | | Bugre |
| São José dos Pinhais | 3,00 | 22,00 | Roça Velha |
| Lapa | 1,80 | 17,50 | |
| Colombo | 3,00 | 6,00 | Sítio Caqui |
| Total | 2,48 | 486,50 | |

O parâmetro utilizado para avaliar o grau de restrição do fator fertilidade foi a saturação de bases dos solos (V%): glebas com V% inferior a 50% foram classificadas como grau de restrição nulo (um), entre 50 e 60%, como ligeiro (dois), e acima de 60% como grau três (moderadamente restritivo). O nível de fertilidade apresentou-se na maioria das glebas (91,59%) com grau de restrição nulo ou ligeiro, favorecendo a aplicação de biossólidos. A aplicação de lodos caledados aos solos normalmente resulta em aumento de pH, com a aplicação em solos corrigidos este incremento pode tornar o superior a 7, como demonstra ANDREOLI (1999). A partir deste pH a disponibilidade de micronutrientes e de fósforo é significativamente reduzida, afetando a produtividade das culturas.

Os resultados mais expressivos da utilização do lodo por BOTTEGA e NASCIMENTO (1999) na RMC também foram obtidos em solos com necessidade de correção. Assim, as áreas onde se evidenciam problemas de acidez são as mais recomendadas para o lodo.

Em outros países, e mesmo em outros programas de reciclagem no Brasil, antes da utilização do lodo é comum a recomendação de correção do solo. Esta observação visa minimizar os riscos oferecidos pelos metais pesados, cuja disponibilidade para as plantas é maior em pH ácido. Nestes programas, porém o lodo não é caleado ou utilizam-se baixas taxas de cal, minimizando os efeitos do material sobre a acidez do solo e consequentemente aumentando os riscos oferecidos pelos metais. Na RMC estes riscos são minimizados pelos baixos teores de metais no lodo e pelos efeitos do lodo caleado sobre a acidez do solo.

Apenas 7,41% (4 propriedades) apresentaram-se moderadamente limitantes quanto à fertilidade, com V superior a 60%, destas, uma apresentou V% maior que 70%. Nestas áreas a recomendação foi limitada pela necessidade de calagem e o fator de correção da saturação de bases utilizado foi 80%.

A segurança do uso de lodo em relação às propriedades químicas do solo pode ser considerada garantida com a utilização deste fator de correção, embora normalmente seja recomendado para culturas mais sensíveis à acidez (RAIJ, 1993), como hortaliças. Para grandes culturas normalmente são utilizados índices de correção menores, em função dos custos da aplicação de calcário e da baixa resposta das plantas.

O parâmetro pedregosidade nas interpretações do sistema de classificação no campo, focalizaram a presença de cascalho, calhaus e matacões nos solos. Assim, os índices apresentados refletem maior (grau de restrição três) ou menor (grau de restrição um) presença destes elementos nas glebas fertilizadas com lodo. Em todas as glebas a presença deste material não caracterizou-se como fator de restrição, capaz de interferir no emprego de máquinas, ou seja, mais de 3% de material macroclástico (EMBRAPA, 1999).

O solos classe três para hidromorfismo representaram 3,70% das áreas, ocupando apenas 2,5 ha, caracterizando solos de baixada. É importante que solos que apresentam algum grau de restrição em relação a hidromorfismo sejam cuidadosamente avaliados. Áreas que apresentem lençol freático próximo a superfície

em determinadas épocas do ano acentuam os riscos de contaminação dos corpos hídricos.

5.4.4.2 Características químicas dos solos

A análise de rotina para fertilidade dos solos é exigência do IAP para todas as glebas utilizadas para reciclagem. Esta avaliação é fundamental ainda para a recomendação das dosagens de lodo, fertilizantes minerais e corretivos complementares à utilização do lodo.

A correção da acidez, normalmente é o primeiro aspecto avaliado para melhoria da fertilidade do solo, melhorando o ambiente radicular, estimulando a absorção de nutrientes e aumentando a eficácia dos fertilizantes, apresentando reflexos diretos sobre a produtividade das culturas. Os resultados da análise de rotina dos solos mostrou grande variação dos parâmetros de acidez: pH (CaCl_2), alumínio trocável e saturação de bases (V%), apresentados na figura 6 e 7.

FIGURA 6. ACIDEZ E ALUMÍNIO TROCÁVEL NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO.

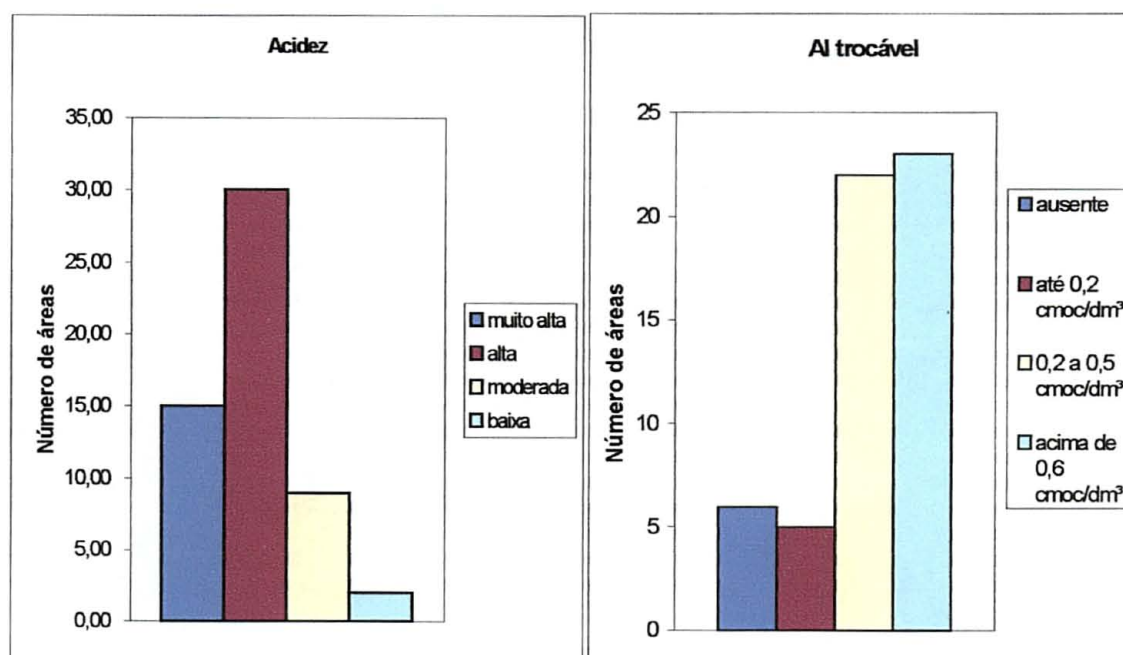
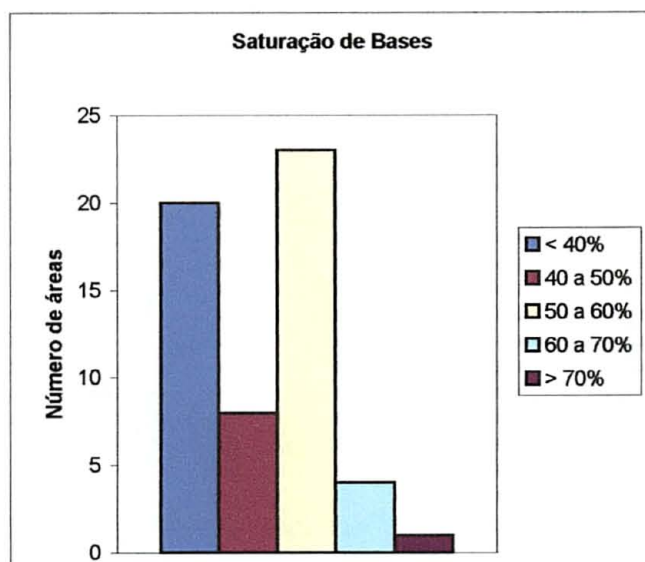


FIGURA 7. SATURAÇÃO DE BASES NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO.



Os valores encontrados estão coerentes com a variabilidade apontada por SOUZA et al. (1994) para solos da RMC, por SANTOS FILHO e ROCHA (1982) em solos do complexo cristalino e por CHODUR (1990) para solos de Araucária-Contenda, exceto para V% que nas análises realizadas pelo autor sempre foi inferior a 50%. Demonstram também, as baixas condições de fertilidade com que grande parte dos solos vem sendo cultivada, confirmando verificação de BOTTEGA e NASCIMENTO (1999). Em 80,36% das solos, verificou-se acidez alta ($4,4 < \text{pH} < 5,0$) ou muito alta ($\text{pH} < 4,3$). Apenas 4 áreas apresentaram saturação de bases superior a 60% da CTC e 54,55% apontaram valores muito baixos ou baixos. O alumínio trocável é limitante em 41,07% dos solos e apenas 6 (11,54% das terras) não apresentaram o elemento na forma trocável.

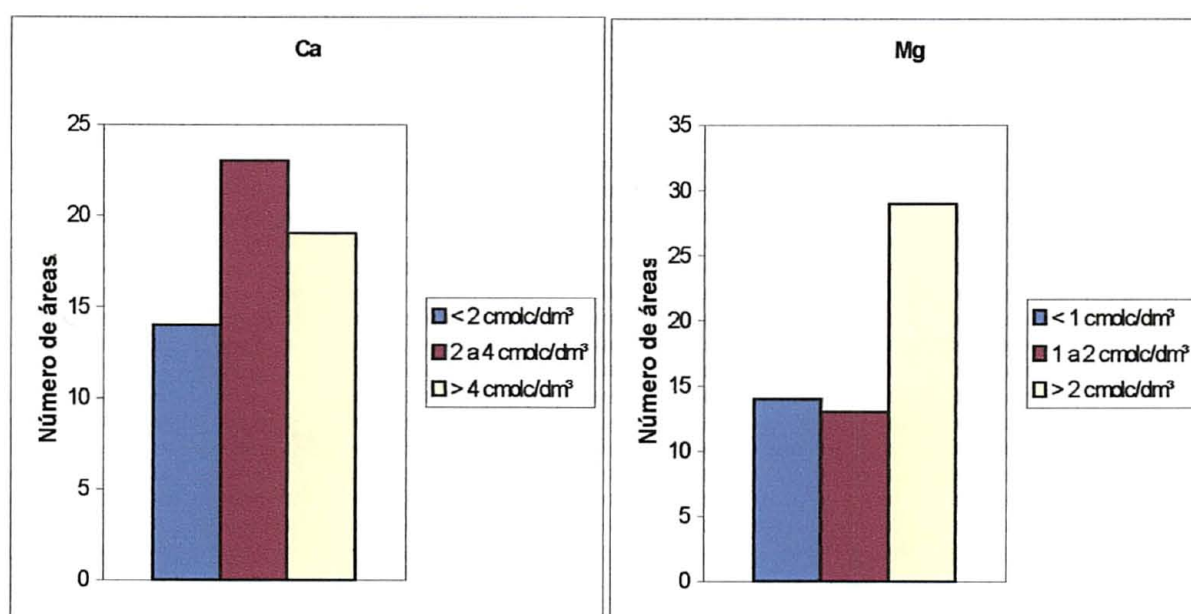
Estes resultados evidenciam o potencial para utilização de lodo na RMC não apenas como fonte de N, mas também como corretivo do solo, como caracterizado por ANDREOLI (1999), DESCHAMPS et al. (1997), FAVARETTO et al. (1999), DESCHAMPS e FAVARETTO (1998) e BOTTEGA e NASCIMENTO (1999) utilizando lodo caledado da ETE-Belém e MARCHIORI Jr et al. (1998), ANJOS (1999) entre outros, trabalhando com lodo de outras ETES.

O nível de saturação de bases recomendado pela assistência técnica para fins

de definição de dosagens de lodo variou entre 70, 75 e 80%, sem uma definição em função de culturas. Nos solos em que a saturação de bases original encontrada foi superior a 60%, mas que ainda assim os agricultores mostraram interesse em utilizar o material, as dosagens foram calculadas para elevação do valor para 80%. Este patamar normalmente é utilizado na prática agrícola principalmente para culturas que respondem a aplicações maiores de calcário, não comprometendo o potencial produtivo do solo.

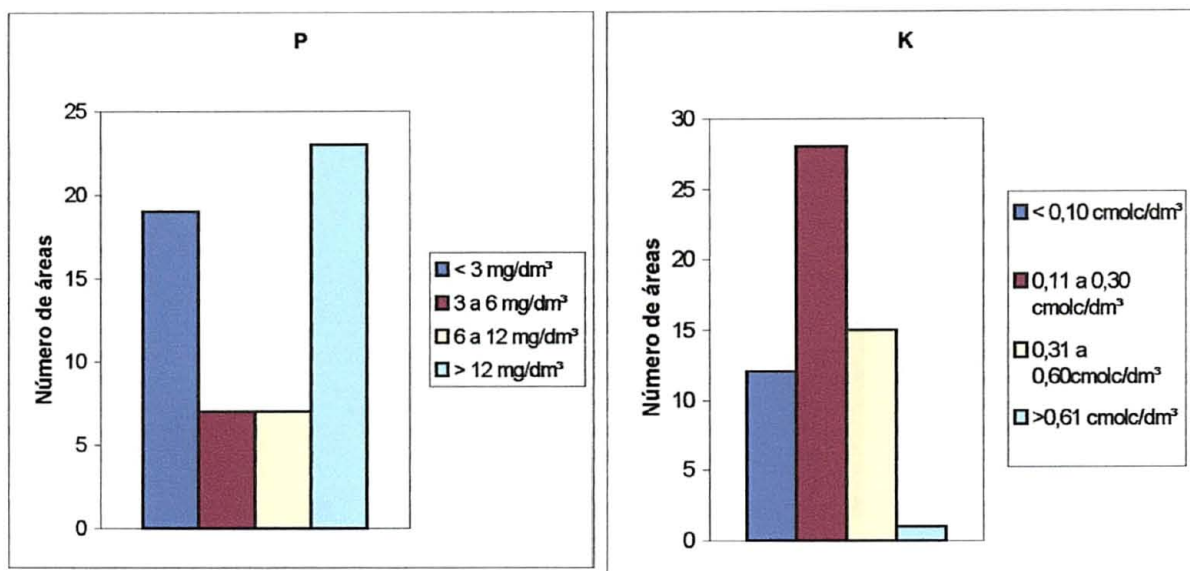
Os teores de cálcio e magnésio também foram bastante variáveis encontrando-se em sua maioria em teores médios e altos (figura 8), conforme os encontrados por SOUZA et al. (1994) em solos cultivados de Paraná e por CHODUR (1990) em solos da região de Araucária – Contenda.

FIGURA 8. TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO NA RMC



Os teores de P e K, foram os que apresentaram maior variação: de 0,6 a 54,20 mg/dm³ para o fósforo e 0,05 a 0,88 cmolc/dm³ para o potássio (figura 9).

FIGURA 9. TEORES DE FÓSFORO E POTÁSSIO NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO.



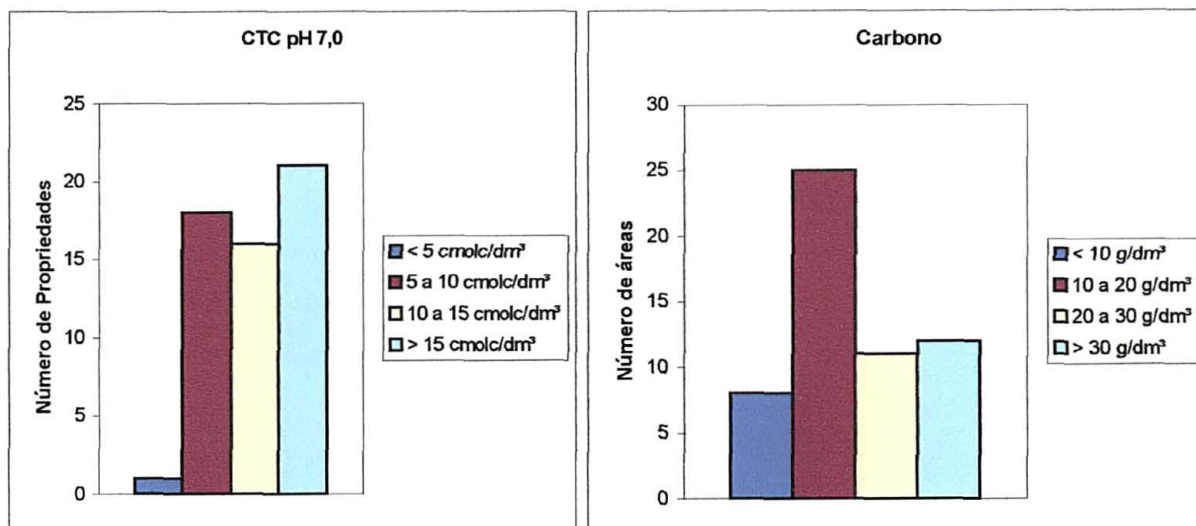
A frequência de teores elevados de P foi maior nos solos cultivados com grama e fruticultura, culturas que normalmente utilizam adubações fosfatadas pesadas. Nas áreas de produção de grama o fósforo é aplicado em dosagens elevadas na implantação da cultura, normalmente com a utilização de rochas fosfatadas.

Nos solos cultivados com milho e feijão, os teores apresentaram grande variação, provavelmente em função das diferenças de manejo, rotação de culturas e adubação praticadas pelos agricultores.

Os teores de potássio encontrados nos solos apresentaram-se em sua maioria médios (53,8%), entre 0,1 e 0,3 cmolc/dm³, e altos (28,8%), superiores a 0,30 cmolc/dm³, concordando com os dados de CHODUR (1990) em 5 solos da região de Araucária - Contenda, LUCHESI (1997) em solo de Contenda e SOUZA et al. (1994) em solos da RMC.

Os teores de C e CTC, de forma semelhante aos outros parâmetros de fertilidade avaliados, variaram acentuadamente, figura (10). A maioria das propriedades (66,7%) apresentou CTC média ou alta (>10 cmolc/dm³), apresentando potencial elevado para a prática agrícola. Os teores carbono são considerados baixos em apenas 14,29% dos solos.

FIGURA 10. TEORES DE C E CTC NOS SOLOS UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ANTES DA APLICAÇÃO.



Estes resultados confirmam as expectativas de SANEPAR (1997), LUCHESI (1997) BOTTEGA e NASCIMENTO (1999), BISCAIA e MIRANDA (1996), de que o lodo pode atender às necessidades dos agricultores desta região como corretivo da acidez, fertilizante nitrogenado e fosfatado ou condicionador do solo, dependendo do fator de limitação observado em cada solo.

5.5 CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTORES, TÉCNICAS DE APLICAÇÃO E ACEITABILIDADE DO LODO DO LODO DE ESGOTO.

A reciclagem de resíduos é uma atividade ainda pouco conhecida da maior parte dos agricultores brasileiros. Assim, mesmo com a transformação do lodo de esgoto em um insumo com potencial elevado para atender as demandas dos agricultores, a reciclagem destes materiais na agricultura esbarra na resistência de parte dos produtores.

A realização de levantamentos de opinião sobre a utilização e as potencialidades do biossólido junto aos produtores rurais que já fazem uso do material, visa estabelecer diretrizes e estratégias de ação para novos projetos e garantia dos mercados já estabelecidos, através da avaliação da aceitação do produto.

Da mesma forma que um programa de reciclagem pode encontrar grande resistência para implementação, a continuidade de projetos já implantados depende do equacionamento dos problemas técnicos e ambientais identificados, mas principalmente, das dificuldades apontadas pelos agricultores.

No total, vinte e sete agricultores foram cadastrados e beneficiados pelo programa de reciclagem de lodo de esgoto na RMC entre setembro de 2000 e março de 2002. Entre estes produtores 17, representando 62,96 % do total, foram entrevistados.

Em relação ao grau de escolaridade, observou-se que a maioria dos agricultores que utilizaram lodo (64,71%) possuem pelo menos o primeiro grau completo (tabela 51). Observa-se ainda que os agricultores que não demonstraram interesse em utilizar o lodo novamente estão no grupo de menor escolaridade, indicando que neste grupo pode existir menor aceitabilidade. FORSTE (1994) aponta o grau de instrução dos agricultores como um dos principais entraves a reciclagem agrícola do lodo, observando maior aceitabilidade entre os agricultores de maior escolaridade. ANDREOLI (1999) também observou maior rejeição à utilização do lodo entre a população de baixa escolaridade.

TABELA 51.USO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO E NÍVEL DE ESCOLARIDADE NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Escolaridade | Produtores que utilizaram lodo | | Produtores que utilizariam novamente | |
|-------------------|--------------------------------|---------------|--------------------------------------|----------------|
| | Número | % | Número | % ¹ |
| Sem escolaridade | | - | | |
| 1 grau incompleto | 6,00 | 35,29 | 4 | 66,67 |
| 1 grau completo | 5,00 | 29,41 | 5 | 100,00 |
| 2 grau incompleto | 1,00 | 5,88 | 1 | 100,00 |
| 2 grau completo | 2,00 | 11,76 | 2 | 100,00 |
| Superior | 2,00 | 11,76 | 2 | 100,00 |
| pós-graduado | 1,00 | 5,88 | 1 | 100,00 |
| Total | 17,00 | 100,00 | 15 | 88,23 |

¹ Em relação aos que utilizaram no mesmo grau de escolaridade

² Em relação ao número total de agricultores que utilizaram lodo entrevistados

Os resultados mostraram que 88,23 % (15 entre os 17 agricultores entrevistados) mostraram interesse em utilizar o lodo novamente, evidenciando o potencial do lodo como insumo agrícola na região.

A utilização de lodo foi maior nos estabelecimentos de tamanho médio, com área cultivada entre 10 e 50 ha, correspondendo a 52,94 % das propriedades (tabela

52). Os pequenos agricultores representaram 29,41 % dos beneficiados e apenas 3 agricultores que utilizaram lodo podem ser considerados grandes, com mais de 50 ha cultivados anualmente (SEAB, 2000).

Os dois agricultores que rejeitaram uma nova utilização de lodo se enquadram como grandes produtores (tabela 52). Os motivos da rejeição foram problemas de odor e, principalmente, dificuldade de aplicação. Mesmo que adequadamente estabilizado, o lodo caledado disponibilizado aos agricultores na RMC apresenta odor característico. A dificuldade de distribuição se deve as características físicas do lodo, devido ao teor de umidade elevado (17% a 21%), o lodo apresenta constituição pastosa provocando embuchamento e dificultando a aplicação.

TABELA 52. ÁREA CULTIVADA DOS AGRICULTORES QUE UTILIZARAM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Área Cultivada Ha | Produtores | | Produtores que reutilizariam | |
|----------------------|------------|--------|------------------------------|--------------------|
| | Número | % | Número | % ¹ |
| < 1 | 1,00 | 5,88 | 1 | 100,00 |
| 1 A 5 | 3,00 | 17,65 | 3 | 100,00 |
| 5 a 10 | 1,00 | 5,88 | 1 | 100,00 |
| 10 a 20 | 5,00 | 29,41 | 5 | 100,00 |
| 20 a 30 | 3,00 | 17,65 | 3 | 100,00 |
| 30 a 50 | 1,00 | 5,88 | 1 | 100,00 |
| 50 A 80 | 1,00 | 5,88 | 0 | 0,00 |
| > 80 | 2,00 | 11,76 | 1 | 50,00 |
| total | 17,00 | 100,00 | 15 | 88,23 ² |

¹ Em relação aos que utilizaram no mesmo grau de escolaridade

² Em relação ao número total de agricultores que utilizaram lodo entrevistados

A cultura principal dos produtores que solicitaram lodo é o milho, cultivado por 80 % dos agricultores, seguido pela cultura do feijão, plantado por 46,67%. As cultura de batata, cebola e hortaliças caracterizaram são importantes para 6,67%, 26,67%, e 20% dos agricultores. Nestas culturas o lodo não pode ser utilizado, segundo os critérios do LAP, no entanto, são culturas que respondem positivamente a adubações orgânicas e podem ser recomendadas em rotação com a cultura do milho. Neste caso o período de 1 ano entre a aplicação do lodo e o cultivo destas espécies deve ser rigorosamente obedecido.

A fruticultura e as pastagens foram as culturas que mais receberam lodo depois do milho, porém representam apenas 26,67% e 13,33% dos produtores

entrevistados, respectivamente. Os dados demonstram que existe potencial para o material em ampla gama de lavouras cultivadas na RMC, e desperta interesse de muitos produtores.

Em relação ao nível tecnológico das propriedades (tabela 53), 75% dos produtores utilizam calagem, demonstrando o conhecimento da importância desta prática para a melhoria da produtividade. O potencial do lodo como substituto de materiais corretivos do solo foi bastante trabalhado pelos extensionistas da EMATER, e este é o objetivo principal da maioria dos agricultores que utilizam o lodo pela primeira vez. Os efeitos verificados sobre o solo e o desenvolvimento das culturas são fatores que estimulam os produtores a utilizarem novamente o material.

TABELA 53. CARACTERIZAÇÃO DO NÍVEL TECNOLÓGICO DOS PRODUTORES QUE UTILIZARAM LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Práticas de manejo | Produtores | |
|---------------------|------------------|------------|
| | Número | % |
| Plantio Direto | 6,00 | 37,50 |
| Rotação de culturas | 12,00 | 75,00 |
| Plantio em nível | 4,00 | 25,00 |
| Irrigação | 4,00 | 25,00 |
| Adubo químico | 13,00 | 81,25 |
| Análise de solo | 7,00 | 43,75 |
| Calagem | 12,00 | 75,00 |
| Mecanização: | microtrator | 1,00 6,25 |
| | 1 trator | 5,00 31,25 |
| | mais de 1 trator | 5,00 31,25 |

São também 75% dos entrevistados que dizem utilizar rotação de culturas, no entanto esta rotação nem sempre é observada na prática, principalmente em função da desvalorização das culturas de feijão e batata e a valorização do milho em anos recentes. Esta característica pode ser verificada pela própria composição das culturas principais destes agricultores, discutido acima.

O plantio direto é utilizado por apenas 37,5% dos produtores, demonstrando a pouca difusão desta técnica nestes municípios. A adubação química é prática de 85,21% dos agricultores, enquanto a adubação orgânica é realizada com frequência apenas por 37,5%, são os fruticultores e produtores que também cultivam hortaliças.

Quanto a forma de informação da distribuição do bio-sólido e da possibilidade de aplicação na agricultura, 62,5% dos produtores afirmaram que

souberam da distribuição através da EMATER e 31,25% através de vizinhos que fizeram uso do material. Demonstrando a importância de se estabelecer parceria com empresa de grande difusão e aceitação entre a comunidade rural da região.

Contrariando as expectativas de FORSTE (1994), nenhum produtor apontou a televisão ou os folders como forma de tomar conhecimento do programa. Estes instrumentos, no entanto, poderão ser importantes em regiões onde os agricultores apresentem maior resistência ou a produção de lodo demande grandes áreas para disposição.

ANDREOLI (1999) destaca que depois da comprovação econômica, a recomendação técnica é o segundo fator de indução ao uso do lodo, seguido pela experiência de vizinhos. STARK (1993) observou que demonstrações de campo e programas escolares estimularam a utilização de lodo de esgoto nas propriedades agrícolas do estado de Minnesota, nos E.U.A.

Dentro das propriedades verificou-se que um dos principais problemas apontados pelos produtores para a utilização é a dificuldade na aplicação. A constituição pastosa do material torna inviável a aplicação através dos implementos agrícolas normalmente empregados para distribuição de adubos e corretivos. Para contornar o problema a EMATER disponibiliza aos agricultores um equipamento próprio para a tarefa, porém a tração deste equipamento demanda um trator de grande potência, inexistente em grande parte das propriedades agrícolas. Assim, muito produtores (31,25%) aplicaram o lodo manualmente, com carreta de trator/concha, pás e enxadas, e 18,75% equacionaram o problema orientando as descargas do lodo ao longo da gleba e espalhando com lâmina e trator.

Coerente com esta observação, a dificuldade de manuseio foi um dos pontos mais criticados pelos agricultores (tabela 54), tanto pelas características do material quanto pela falta de equipamentos para trabalhar o lodo na propriedade, demonstrando que o programa precisa melhorar estes pontos para garantir a continuidade e o mercado no futuro.

TABELA 54 –PRINCIPAIS PROBLEMAS APONTADOS PELOS PRODUTORES QUE UTILIZARAM O LODO DE ESGOTO CALEDADO NA AGRICULTURA. ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Problemas identificados | Produtores entrevistados | |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------|
| | Número | % |
| Odor | 16 | 94,12 |
| Dificuldade de manuseio/espalhamento | 12 | 70,59 |
| Época de distribuição | 5 | 29,41 |
| Problema com o vizinho | 3 | 17,65 |
| Medo de contaminação com doenças | 1 | 5,88 |
| Não apontaram problemas | 1 | 5,88 |
| Total | 17 | 100,00 |

Entre os produtores entrevistados, 94,11% (16) apontaram algum tipo de problema na utilização do lodo. O odor foi considerado o considerado problema por 16 agricultores (94,12%), e, embora estivesse dentro dos padrões de estabilidade normativos, foi considerado pelos agricultores como mais repulsivo que o de dejetos animais disponíveis na RMC pelo mesmo número de entrevistados. ANDREOLI (1999) já havia identificado o odor como o fator de maior rejeição entre agricultores. Complementando a informação, 18,75% dos usuários tiveram problemas com vizinhos devido ao odor e 56,25%, verificaram atração de moscas até dez dias após o recebimento do material na propriedade. Estes problemas, no entanto, foram eliminados com a incorporação do lodo ao solo.

Concluindo-se que o lodo deve ser estocado o menor tempo possível nas áreas agrícola, e sempre que houver necessidade de estocagem por períodos superiores a uma semana, devem ser observados alguns critérios de estocagem: pulverização de cal sobre as pilhas, cobertura com lona e desvio de águas pluviais.

Os riscos de contaminação foram apontados por apenas 6,25% dos entrevistados, índice muito semelhante ao encontrado por ANDREOLI (1999) na RMC.

A época de distribuição mostrou-se inadequada para 31,25% dos agricultores. Três fatores podem ser levantados para justificar este problema: a) a produção de lodo continua; e b) o grau de umidade do lodo. Nestas condições, a produção de lodo da ETE-Belém torna necessária a utilização de grandes áreas para estocagem, inviabilizando a concentração para distribuição intensiva em épocas mais

propícias para a agricultura. Embora esta dificuldade não esteja afetando o programa no momento, que ao contrário tem tido limitações para atender à demanda criada, no futuro, com o aumento do volume produzido, a época de distribuição pode se apresentar limitante. Esta questão foi levantada por BOTTEGA e NASCIMENTO (1998 e 1999) em programa piloto para reciclagem de lodo entre agricultores de Balsa Nova e Fazenda Rio Grande. Assim, a diversificação de culturas para aplicação do lodo poderá ser importante com aumento da produção, permitindo escoamento contínuo.

A época de recebimento e a disponibilidade do equipamento de distribuição foram apontadas pelos agricultores também como causas da estocagem do material nas propriedades, ressaltando a importância destes fatores para a programação das atividades dos agricultores. Do total de produtores entrevistados, 47,06 % indicaram o equipamento e 11,76% a época de recebimento como causas da estocagem. O principal fator associado a estocagem, no entanto, foram as condições climáticas, para 47,06% dos entrevistados (tabela 55).

TABELA 55. FATORES ASSOCIADOS A ESTOCAGEM DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Razões para a estocagem | Produtores | |
|----------------------------------|--------------|---------------|
| | Número | % |
| época de plantio/preparo do solo | 2,00 | 11,76 |
| equipamentos para espalhamento | 8,00 | 47,06 |
| condições climáticas | 8,00 | 47,06 |
| outras tarefas | 3,00 | 17,65 |
| outro motivo | 4,00 | 23,53 |
| total | 17,00 | 100,00 |

A distribuição de lodo em escala empresarial apontou deficiências com relação a necessidade de distribuição e rápida aplicação e incorporação do lodo ao solo, evitando a armazenagem no campo, conforme as recomendações. Na prática, fatores como condições climáticas, equipamento, atividades do produtor e acesso a algumas propriedades interferiram sobre maneira nos processos de espalhamento/incorporação, determinando a necessidade de estocagem por períodos que na maioria das vezes (64,71%) não foram superiores a 30 dias.

TABELA 56. PERÍODO DE ESTOCAGEM DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NAS PROPRIEDADES DA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Duração do período de estocagem | Produtores | |
|---------------------------------|--------------|---------------|
| | Número | % |
| menos de 7 dias | 2,00 | 11,76 |
| 7 a 15 dias | 4,00 | 23,53 |
| 15 a 30 dias | 5,00 | 29,41 |
| mais de 30 dias | 6,00 | 35,29 |
| total | 17,00 | 100,00 |

Períodos mais longos de estocagem, normalmente foram ocasionados pelo próprio produtor e por condições climáticas. Entre os meses de fevereiro a maio, os agricultores foram orientados pelo programa a estocar o lodo por um período adicional de 15 dias, visando aumentar o período de contato do lodo com a cal e melhorar o padrão de sanidade do lodo, uma vez que estes lote apresentaram problemas de higienização.

Em relação às vantagens da aplicação do lodo (tabela 57), 82,35% dos agricultores disseram ter observado plantas mais vigorosas, 64,71% indicaram maior produtividade, 41,18% verificaram menores gastos com adubação e 41,18 %, culturas mais resistentes à seca. Também foram apontados outros efeitos foram, como menor ataque de pragas, frutas maiores e solo mais solto e macio na aração.

TABELA 57. PRINCÍPAIS VANTAGENS APONTADAS PELOS AGRICULTORES COM A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2001

| Vantagem apontada | No. de produtores | % |
|--------------------------|-------------------|---------------|
| Maior produtividade | 11,00 | 64,71 |
| Menor gasto com adubo | 7,00 | 41,18 |
| Plantas mais vigorosas | 14,00 | 82,35 |
| Solo mais úmido | 6,00 | 35,29 |
| Maior resistência a seca | 7,00 | 41,18 |
| Total | 17,00 | 100,00 |

Corroborando com os resultados de ANDREOLI (1999), o melhor parâmetro de aceitabilidade e marketing do lodo no programa foi a vizinhança, em 68,75 % das propriedades avaliadas os vizinhos demonstraram interesse no uso do lodo. Esta observação é comprovada pela número de produtores que solicitaram lodo por influência do vizinho (31,25%). Demonstrem ainda a importância deste fator para a expansão do mercado para o lodo. Desta forma, programas de reciclagem devem garantir procurar atender ao máximo as expectativas do agricultor, caso contrário o fator vizinhança pode tornar-se um inimigo do programa.

Entre os aspectos que poderiam melhorar a aceitação do produto (tabela 58), a disponibilidade de um equipamento de distribuição mais adequado para tratores pequenos e médios, foi apontada por 76,47% dos produtores. O questionário estruturado mostrou ainda que 41,18% dos entrevistados indicaram este fator indiretamente, afirmando que o lodo deveria ser mais seco para facilitar a aplicação, inclusive manual. Embora 94 % dos agricultores tenham apontado o odor como problema do na utilização do lodo, 29,41% se mostrariam mais interessados pelo produto com sua redução. Outros motivos apontados foram a época de entrega do produto, que deveria ser melhor compatibilizada com os períodos de preparo do solo e implantação da cultura; o desenvolvimento de um carregador mais prático facilitando o trabalho no campo e mais informações sobre o produto, sua aplicação e benefícios através de dias de campo.

TABELA 58. PRINCIPAIS FATORES SEGUNDO OS AGRICULTORES QUE INDUZIRÃO O USO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO NA RMC.

| Fator | Produtores | |
|-------------------------------|--------------|---------------|
| | Número | % |
| Época de entrega | 3,00 | 23,53 |
| Odor | 5,00 | 29,41 |
| Equipamento para distribuição | 13,00 | 76,47 |
| Dia de campo | 1,00 | 5,88 |
| Carregador mais prático | 1,00 | 5,88 |
| Produto mais seco | 7,00 | 41,18 |
| Total | 16,00 | 100,00 |

A disposição final do lodo representa atividade de grande ônus para as empresas de saneamento (ANDREOLI et al., 1998). Em Curitiba, o programa de reciclagem tem custo aproximado de R\$ 54,00 / t(úmida) de lodo. Assim, a questão do repasse deste ônus para os agricultores está sempre em pauta entre os responsáveis pela gestão do lodo. O levantamento realizado neste trabalho apontou que 52,94% não teriam interesse caso o lodo fosse comercializado (tabela 59), principalmente pelo custo e dificuldades associadas ao espalhamento, confirmando mais uma vez a necessidade de melhoria deste fator.

TABELA 59. NÍVEL ACEITABILIDADE DA COMERCIALIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO ENTRE OS AGRICULTORES DA RMC

| Aceitação | Produtores | |
|------------------------|--------------|---------------|
| | Número | % |
| Positiva | 4,00 | 23,53 |
| Negativa | 9,00 | 52,94 |
| Precisa avaliar custos | 3,00 | 17,65 |
| Não respondeu | 1,00 | 5,88 |
| Total | 17,00 | 100,00 |

A aceitabilidade apontada por quase 25% dos produtores seria variável em função do preço, e 3 (17,65%) mostraram-se favoráveis, mas precisariam avaliar a relação custo/benefício para tomar a decisão. Estas informações levantam perspectiva para a possibilidade futura, com o programa consolidado, de agregar valor ao resíduo, repassando parte dos custos do programa para os agricultores.

5.6 EFEITO DO LODO DE ESGOTO CALEDADO DA ETE-BELÉM SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DE TRÊS SOLOS NA RMC.

Neste capítulo são avaliados as propriedades químicas de três solos representativos da RMC após a aplicação de lodo de esgoto comparativamente às condições químicas de parcelas sob condições usuais de manejo dos agricultores e sob condições naturais: mata ou capoeira em estágio avançado de regeneração.

O objetivo desta análise é avaliar o potencial do lodo na substituição de fertilizantes minerais e corretivos de uso clássico entre os agricultores.

Na tabela 60 são apresentados os resultados de valores F observados quando se comparam os efeitos do lodo, das práticas de manejo da fertilidade usuais e das condições naturais (sem uso) nas propriedades químicas dos solos.

TABELA 60. VALORES DE "F" PARA CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS EM FUNÇÃO DAS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEDADO

| Solo | Valor F observado | | | | | | | | | |
|------|----------------------|----------|----------|----------------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------------------|----------|
| | pH CaCl ₂ | Al | H+Al | Ca | Mg | K | T | P | C | V% |
| PVAd | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0001** | 0,0000** | 0,30047** | 0,0207* | 0,0003** | 0,0029** | 0,0000** |
| CXbd | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | 0,0000** | ns | 0,0001** | 0,0000** | 0,0862 ^{ns} | 0,0000** |
| LVAd | 0,0000** | 0,0001** | 0,0000** | 0,3133 ^{ns} | 0,1314 ^{ns} | 0,0000** | 0,0005** | ns | 0,0007** | 0,0005** |

* efeito significativo das condições de uso ao nível de 1% de probabilidade

** efeito significativo das condições de uso ao nível de 5% de probabilidade

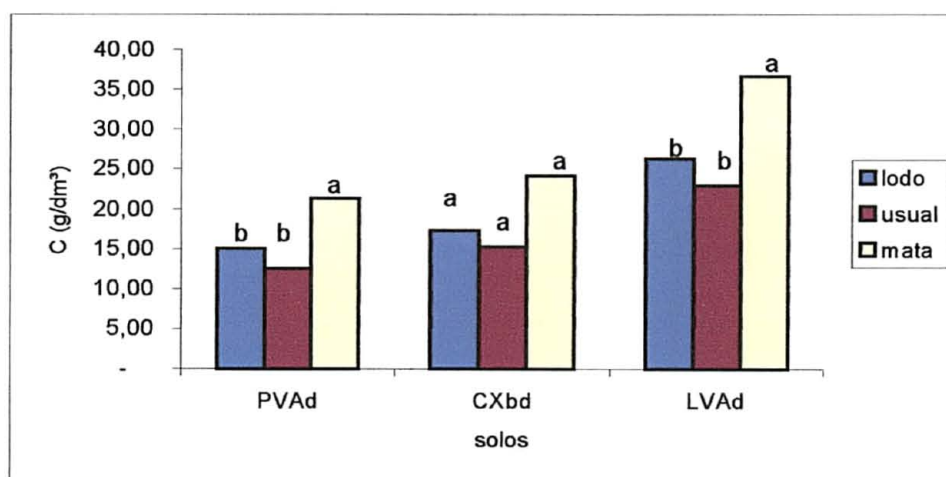
^{ns} práticas de manejo sem efeito significativo ao 5% de probabilidade

Verifica-se que as condições de uso influenciaram significativamente a maioria das propriedades químicas dos solos avaliados, o que era esperado, uma vez que estão sendo comparadas áreas de cultivo agrícola com áreas sob condições naturais. A seguir estas propriedades são analisados individualmente.

5.6.1. Carbono

O conteúdo de material orgânico das áreas de mata nos três solos avaliados foi superior aos observado nas áreas sob cultivo (figura 11). A redução dos níveis de carbono do solo é característica dos sistemas agrícolas, onde a oxidação do material orgânico é muito mais intensa que nos solos sob florestas, onde há um equilíbrio na ciclagem do elemento (BRADY, 1989; SÁ, 1993; DERPSCH, 1990). A manutenção de conteúdo satisfatório de material orgânico nos solos agrícolas, contudo, tem reflexos positivos diretos sobre a fertilidade dos solos, desenvolvimento e produtividade das culturas.

FIGURA 11. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE C ORGÂNICO NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



FAVARETTO (1996), SÁ (1993) e DERPSH et al. (1990) observaram melhores resultados agronômicos e econômicos em solos sob práticas de cultivo que favorecem o restabelecimento do carbono nos solos, tais como rotação de culturas, menor revolvimento do solo e uso de fertilizantes orgânicos entre outros.

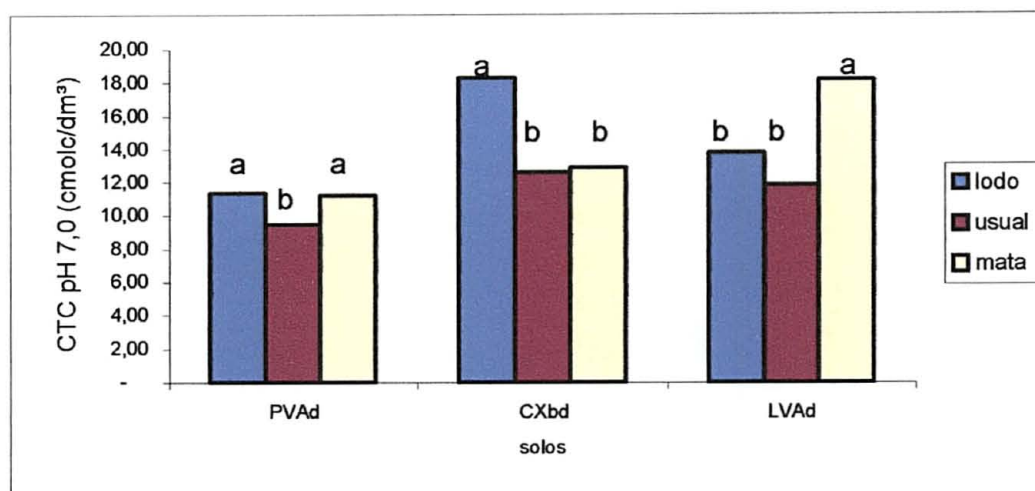
Embora a análise estatística não tenha apontado resultado significativo, os teores de C nas áreas adubadas com lodo foram superiores, nos três solos, quando comparados às áreas onde o material não foi aplicado (figura 7). Estes resultados estão coerentes com os obtidos por BERTON et al., (1989), BATAGLIA et al., (1983), DA ROS et al. (1993) e MELO et al., (1994) entre outros, confirmando a hipótese de que o lodo pode ser utilizado como fonte de C para os solos, e consequentemente com efeitos indiretos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas, revitalizando o solo.

FAVARETTO et al. (1997), no entanto, encontraram tendência de redução dos teores de C com o aumento de dosagens de lodo, provavelmente pelo estímulo da atividade microbiana. RAIJ (1998) sugere que efeitos significativos e duradouros da aplicação de lodo sobre os teores de carbono, dependem de aplicações elevadas e sucessivas.

5.6.2. CTC

A CTC (figura 12) mostrou comportamento semelhante ao C, com as áreas adubadas com lodo apresentando níveis superiores às áreas sob condições usuais de cultivo. Estes resultados foram estatisticamente confirmados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os solos PVAd e CXbd.

FIGURA 12. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A CTC NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



A CTC das áreas sob condições naturais também foi superior às sob condições de manejo usual, provavelmente em função dos maiores teores de matéria orgânica observados nestes solos. SOUZA et al. (1996) analisando 10 unidades de solo do Estado do Paraná também encontraram teores de C e CTC superiores em solos não cultivados.

A formação de cargas elétricas depende de diversas características do solo, podendo, no entanto, ser significativamente alterada pela variação do conteúdo de matéria orgânica (MELO et al., 1994; CLAPP et al., 1986; SOPPER, 1993; SÁ, 1993; DERPSCH et al., 1990), e do pH dos solos (QUAGGIO et al., 1993; ANDREOLI, 1999; DERPSH et al., 1990). O lodo de esgoto aplicado aos solos avaliados alterou significativamente tanto o pH quanto o conteúdo de carbono, que provavelmente também resultaram no incremento da CTC. Estes resultados estão de acordo com os observados por SIMONETE et al. (1999), SILVA et al. (1998) e WISNIEVSKI et al. (1996).

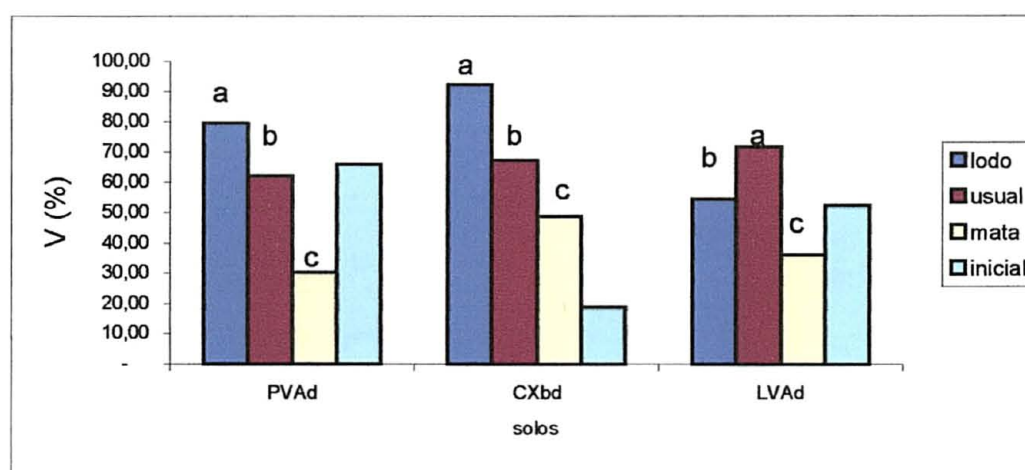
Segundo CLAPP et al. (1986), parte dos incrementos de CTC observados em solos adubados com lodo podem ser atribuídos a elevada capacidade de troca de cátions dos resíduos orgânicos produzidos durante sua decomposição. Desta forma, os efeitos do lodo sobre a CTC seriam passageiros, reduzindo a medida que os níveis de

pH e matéria orgânica do solo tendessem aos valores originais. FAVARETTO et al. (1997), no entanto, observou tendência de acréscimo da CTC pH 7,0 do solo, sem acréscimo nos teores de C.

5.6.3. Saturação por Bases

Com relação ao parâmetro Saturação por Bases, o teste F ao nível de 5% de significância detectou efeitos significativos das condições de uso no solos analisados. A evolução da percentagem de saturação de bases está graficamente representada na figura 13.

FIGURA 13. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A SATURAÇÃO POR BASES NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



Os resultados seguem as tendências de resposta observadas para os elementos Ca e Mg e pH, concordando com os resultados de FAVARETTO et al. (1997), WISNIEVSKI et al. (1996), ANDREOLI (1999) e LUCCHESI (1997) entre outros autores. Estes acréscimos, no entanto, devem ser creditados principalmente como efeito das altas concentrações de Ca e Mg adicionadas ao lodo pelo processo de desinfecção alcalina, aumentando assim, o potencial corretivo do biossólido.

A resposta menos expressiva do lodo no solo LVAd em comparação a área sob condições usuais de cultivo deve-se a baixa dosagem de lodo empregada (5,18 t M.S./ha). Este solo apresentava potencial para uso de doses maiores de lodo.

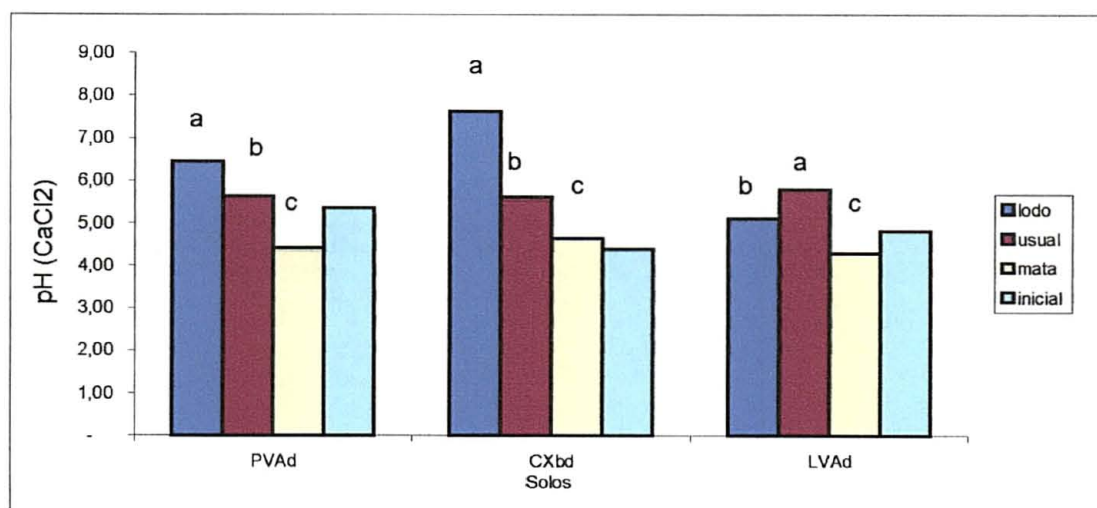
No solo CXbd, contrariamente, a taxa de aplicação resultou em doses excessivas de Ca e Mg, elevando o V% para nível superior a 90%, e o pH a níveis superiores a 7,5 (CaCl_2), que podem ter consequências negativas sobre o equilíbrio de nutrientes no solo, especialmente micronutrientes.

Os efeitos sobre o solo PVAd confirmam a expectativa de que o poder corretivo do lodo é inferior ao calcário. A quantidade de cal adicionada através do lodo foi superior (58%) à necessidade de calagem para saturação de bases equivalente a 80%. O acréscimo do V% observado, no entanto, não superou o patamar estabelecido. Estes resultados provavelmente são consequência da reação da cal com a água livre do lodo, consumindo o poder de neutralização da cal. Assim, conclui-se que é possível a utilização de lodo em solos corrigidos, porém, cuidados adicionais devem ser tomados em relação as dosagens recomendadas.

5.6.4. pH (CaCl_2)

O pH das parcelas cultivadas foi significativamente superior ao pH das parcelas sob condições naturais nos três solos avaliadas (figura 14), confirmando as expectativas, uma vez que a correção da acidez é reconhecida como uma das principais práticas para melhoria da fertilidade dos solos e da produtividade agrícola.

FIGURA 14. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O pH (CaCl_2) NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



O gráfico 14 mostra uma melhoria do pH dos solos sob condições usuais de cultivo em relação aos valores iniciais, apontado o uso de corretivo agrícola, evidenciando que os agricultores reconhecem a importância da prática de correção, exceto no solo PVAd, em que o parâmetro já encontra-se adequado antes do cultivo.

A aplicação de lodo de esgoto resultou em aumento do pH em todos os solos, confirmando as expectativas iniciais e demonstrando o potencial de uso do material como substituto dos produtos corretivos usuais. A melhoria dos parâmetros de acidez do solo pela adição de lodo calcado são referenciados em diversos trabalhos (ANDREOLI, 1999; DESCHAMPS e FAVARETTO, 1997; FERNANDES et al., 1996; FIEST et al., 1998; BARBOSA et al., 2001). O processo de desinfecção utilizado no lodo da ETE-Belém adiciona cal virgem a taxa de 50% do peso seco do material, aumentando o poder corretivo do lodo.

Mesmo aplicações de lodo bruto, sem adição de cal ou qualquer outro reagente alcalino, podem influenciar positivamente estes parâmetros (ANJOS, 1999; BERTON et al., 1989, MARCHIORI Jr et al., 1998; MATIAZZO-PREZOTTO e GLÓRIA, 2000; DA ROS et al., 1993; MELO et al., 1994).

A figura 14 mostra ainda, que o uso do lodo deve ser realizado com critérios. No solo CXbd o pH da parcela adubada com lodo foi significativamente superior ao verificado na parcela corrigida com calcário, resultado da superdosagem de lodo aplicada. É importante destacar que nesta área verificou-se elevação do pH a níveis acima de 7,5, possivelmente resultando em redução da disponibilidade de micronutrientes (Cu, Zn, Mn e Fe) e fósforo para as plantas (MALAVOLTA et al., 1989; BRADY, 1989). Como consequência imediata da alta dosagem observou-se má germinação das sementes e desenvolvimento vegetativo retardado e fraco. Estes resultados confirmam a necessidade de limitação das dosagens de lodo em função do poder corretivo, além da carga de N. É importante destacar que nesta área a superdosagem foi consequência de problemas operacionais durante a aplicação: ocorreu falha na regulação do equipamento de espalhamento que teve como consequência uma adição estimada de 44,94 t M.S./ha, aproximadamente 14,5 t cal

virgem / ha.

No solo LVAd observou-se efeito menos expressivo do lodo em função da baixa quantidade aplicada (5,18 t M.S./ha), e do poder tampão do solo. LUCCHESI (1997), ZAPPI (1999) e ANDREOLI (1999) também verificaram efeitos menos expressivo sobre o pH utilizando lodo alcalinizado em solos argilosos.

No solo PVAd a necessidade de calagem foi o fator de limitação na definição da dosagem de lodo. Este solo não apresentava necessidade de correção, o percentual de saturação por bases (V%) era de 65,85% e atendia às necessidades da cultura de milho (RAIJ, 1991). Assim, aplicação de lodo objetivou apenas o fornecimento de N e foi limitada em função da saturação por bases do solo (V%). Embora a pH do solo tenha se elevado com a aplicação de lodo, não superou o nível de 7,00 unidades, demonstrando a capacidade do lodo como corretivo do solo.

Destaca-se ainda, que esta área (solo LVAd) recebeu lodo no início de 2001, um ano antes da amostragem. Assim, os resultados menos expressivos podem ser resultantes do pequeno efeito residual do lodo. ANDREOLI (1999) observou efeito semelhante em aplicações de lodo em baixas dosagens em solo com alta capacidade de tamponamento. BARBOSA (2000) aponta efeito semelhante um ano após aplicações anuais sucessivas de 6 t M.S./ha de lodo alcalinizado em solo argiloso.

Isto ocorre por que a cal tem PRNT superior ao calcário, reagindo rapidamente no solo e justificando a velocidade de neutralização encontrada por ANDREOLI, 1999; CASTRO, 2000; LUCCHESI, 1997, no entanto, com efeito residual limitado, principalmente em baixas dosagens (BARBOSA, 2000).

CLAPP et al. (1986) afirma que a magnitude de variação do pH do solo em função da utilização de lodo depende de algumas propriedades do solo, entre elas, textura e capacidade tampão, da tipo e quantidade de lodo aplicado e tempo decorrido da aplicação.

5.6.5. Saturação de Alumínio

A tabela 61 apresenta os resultados de saturação de alumínio. Em todos os solos tanto as práticas de correção quanto o uso do lodo reduziram os teores de Al trocável a níveis muito baixos (IAPAR, 1980), conforme esperado e corroborando com os resultados obtidos por LUCCHESI (1997), ANDREOLI (1999), DESCHAMPS et al. (1997); FIEST et al. (1998) entre outros, tanto para os resultados obtidos com lodo caleado, como para a eficiência do calcário utilizado pelos agricultores.

TABELA 61. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO (m%) NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd

| Tratamento | Solo PVAd % | | Solo CXbd % | | Solo LVAd % | |
|----------------------|----------------|---|----------------|---|----------------|---|
| Anterior a aplicação | 3,14 | | 6,90 | | 2,87 | |
| Cultivo usual | 0,00 | b | 0,00 | b | 0,00 | b |
| Cultivo usual + lodo | 0,00 | b | 0,00 | b | 2,36 | b |
| Condições naturais | 20,37 | a | 7,75 | a | 29,03 | a |

No solo LVAd, uma única repetição entre as 4 coletas realizadas na parcela adubada com lodo apresentou alumínio na forma trocável, evidenciado o efeito do lodo mesmo em baixas dosagens.

No solo PVAd, embora não se tenha utilizado nenhum material corretivo, verificou-se redução na saturação de Al, possivelmente como consequência do pequeno aumento de pH observado. Neste nível de pH, segundo BRADY (1989) e RAIJ, (1991), não é esperada a ocorrência significativa de Al trocável.

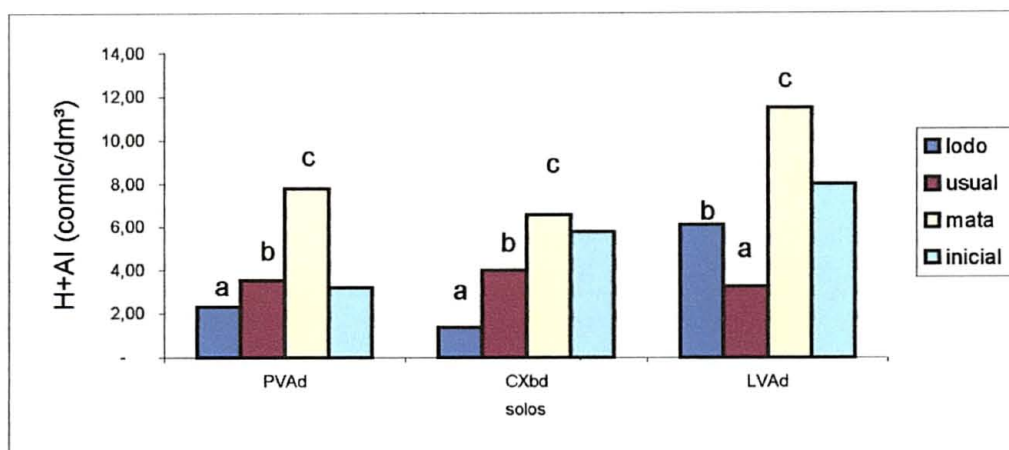
A atividade de Al nos solos sob condições naturais foi superior ao das glebas cultivadas em todos os solo, concordando com os resultados encontrados por SOUZA et al. (1996) e por CHODUR (1990) em solos da RMC.

Confirmando os resultados obtidos com o pH, conclui-se que o lodo alcalinizado pode ser utilizado como substituto de corretivos de solo usuais na agricultura, desde que corretamente recomendado.

5.6.6. Acidez potencial

Em relação a acidez potencial, representada por $H+Al$, a ação dos tratamentos foi semelhante à verificada nos itens anteriores, mostrando redução da acidez dos solos em função da aplicação do lodo (figura 15).

FIGURA 15. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE A ACIDEZ POTENCIAL ($H+Al$) NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



A aplicação de lodo reduziu significativamente a acidez potencial nos solos PVAd e CXbd quando comparado aos tratamento seguindo as práticas usuais de manejo destas áreas (figura 15), enquanto a baixa dosagem incorporada ao solo LVAd mostrou-se menos eficiente. Estas constatações confirmaram as expectativas iniciais. No solo CXbd, os resultados foram bastante inferiores, novamente em função da superdosagem de lodo.

Aplicações volumosas de lodo redundaram em controle mais efetivo da acidez potencial dos solos nos trabalhos de BERTON et al. (1989), MARCHIORI JR. et al. (1998), BARBOSA (2001). Resultados satisfatórios foram obtidos por FAVARETTO et al. (1997) e BATAGLIA et al. (1983) com doses menores.

Em relação aos teores iniciais, em todos os solos os níveis de $H+Al$ foram reduzidos com a prática agrícola, enquanto nos solos sob condições naturais os teores sempre foram mais elevados, assim como os demais parâmetros de acidez.

5.6.7.. Cálcio (Ca^{2+}) e Magnésio (Mg^{2+})

A utilização do lodo de esgoto afetou significativamente os teores de Ca e Mg dos solos PVAd e CXbd, elevando os teores acima dos níveis anteriores à aplicação e aos obtidos com uso de calcário (figura 16 e 17). O efeito de lodo higienizados através de caleação sobre os teores de Ca e Mg nos solos foram evidenciados por diversos autores (DESCHAMPS et al., 1999; ANDREOLI, 1999, WISNIWSKI et al., 1996; DESCHAMPS et al., 1997; FAVARETTO et al., 1997; BARBOSA, 2001; FIEST et al., 1998). O lodo caleado a 50% de M.S. apresenta teores de altos de Ca e Mg, variando normalmente de 9 a 13% e 3 a 7%, respectivamente (SANEPAR, 1997), assim sua aplicação ao solo tem resultados diretos sobre estes elementos.

Figura 16. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Ca NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd

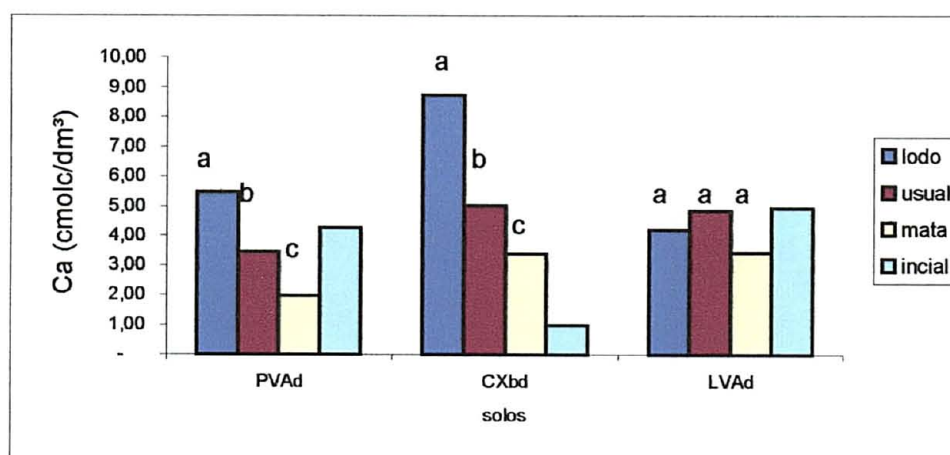
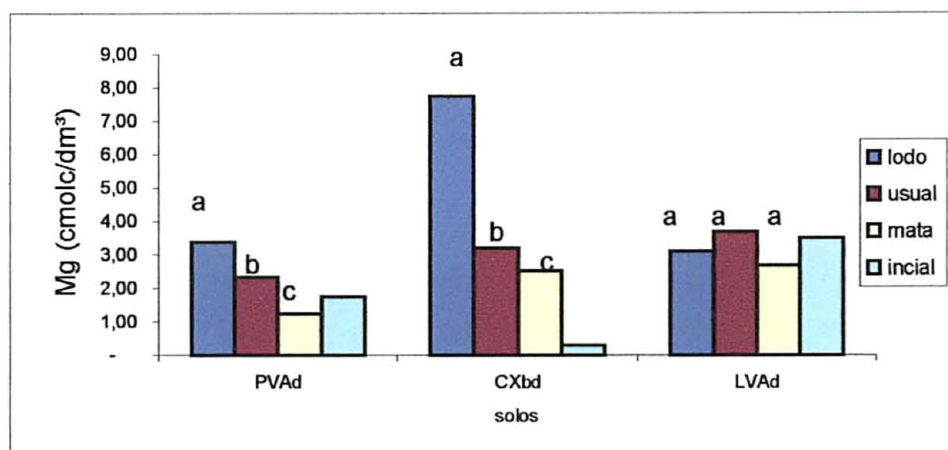


FIGURA 17. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Mg NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



De forma semelhante aos resultados obtidos sobre os parâmetros de acidez, as áreas sob condições naturais apresentaram os menores teores de Ca e Mg (figuras 16 e 17). Os solos cultivados normalmente recebem aplicações significativas destes elementos através dos corretivos.

No solo LVAd, os parâmetros Ca e Mg não foram significativamente afetados pelas condições de uso do solo, em função da heterogeneidade do terreno. No entanto, verifica-se efeito maior da aplicação de calcário nestes solos em relação ao lodo, para estes parâmetros. Este resultado é consequência da baixa dosagem de lodo aplicada.

No solo CXbd, os teores de Ca e Mg foram bastante superiores nas glebas onde foi aplicado lodo, embora a área sem uso de lodo tenha sido corrigida com calcário. Esta diferença é resultado da quantidade de lodo aplicada, 44,94 t M.S./ha, e que adicionou ao solo quantidade significativamente maior de Ca e Mg em relação à aplicação de calcário.

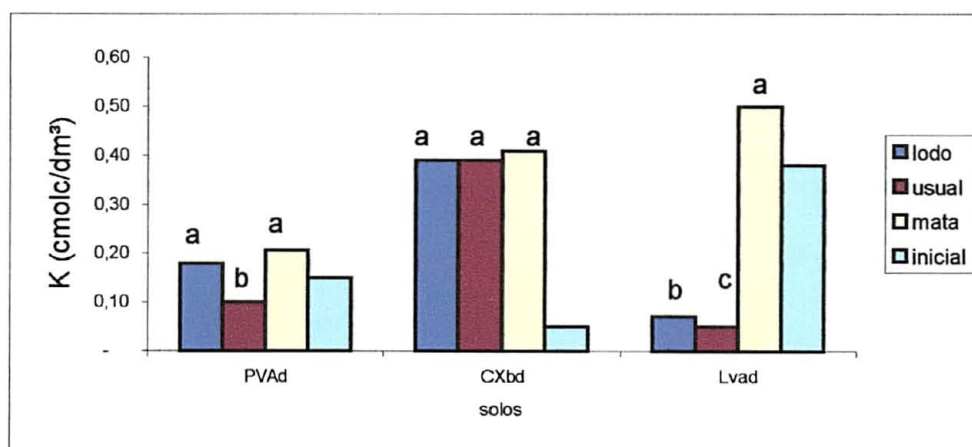
No solo PVAd, onde a quantidade de lodo aplicada (6,27 t M.S./ha) aproximou-se a taxa média utilizada entre setembro de 2000 e março de 2002 na RMC (7,98 t M.S./ha), o aumento do teor destes elementos foi menos expressivo, mas demonstra o potencial do lodo para substituição de outros insumos utilizados pelos agricultores para suplementar estes elementos, como cal hidratada (CaOH) e calcário

de efeito rápido.

5.6.8. Potássio (K^+)

Os maiores teores de K foram encontrados nos solos sob condições naturais nos três solos (figura 18), caracterizando a depleção do nutriente em função do cultivo dos solos. A menor disponibilidade nas áreas sob cultivo demonstra que a reposição do elemento ao solo tem sido insuficiente para compensar a exportação pelas culturas e as perdas por lixiviação (BRADY, 1989). Nos solos sob mata a ciclagem de nutrientes é mais intensa, as raízes alcançam o elemento em profundidade, e os microrganismos que atuam na decomposição da serrapilheira retém o elemento reduzindo as perdas por lixiviação. A mata representa ainda um ciclo fechado, onde a exportação é praticamente nula, e as perdas são consequência principalmente da lixiviação (SIDIRAS e PAVAN, 1995).

FIGURA 18. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE K^+ NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



No solo PVAd a influência do lodo no aumento do nível do elemento no solo foi significativa em relação a área onde não foi aplicado lodo (figura 18), apresentando ainda, aumento em relação a análise de caracterização da área, realizada antes da aplicação. O teor de K também foi significativamente maior com o uso do lodo para as áreas sob cultivo do solo LVAd (figura 18).

O aumento dos teores de K utilizando lodo caleado, não era esperado, já que

o lodo é considerado pobre em K, além da competição dos elementos Ca e Mg, adicionados em quantidades maiores, pelos sítios de troca da CTC, deslocando o elemento (RAIJ, 1993; BRADY, 1983).

Outros autores também observaram acréscimo dos teores de K em solos adubados com lodo bruto, embora pouco significativos (BERTON et al., 1989; MARCHIORI JR et al., 1998; SIMONETE et al., 1999; ANJOS, 2000). A utilização do lodo resultou em aumento da CTC dos solos o que provavelmente favoreceu a fixação do K no solo e minimizou as perdas por lixiviação (SIMONETE et al., 1999; ANDREOLI, 1999, ANJOS 2000; RTAIJ, 1993).

Trabalhando com lodo caleado, FAVARETO et al. (1997) apontou tendência de elevação do teor de K com a utilização de doses crescentes de lodo. ANDREOLI (1999) e LUCHESI (1997) verificaram incrementos significativos e proporcionais a dose de lodo aplicada apenas após a segunda aplicação de lodo. Os resultados, contudo sempre foram menos expressivos que os observados no tratamento com fertilizante mineral.

No solo CXbd as condições de uso não influenciaram o teor de K do solo (figura 18). Os teores médios encontrados (IAPAR, 1980), provavelmente, representam contribuição do próprio material de origem do solo. A amostra de caracterização, no entanto, apresentou teores de K significativamente inferiores aos obtidos após a aplicação do lodo, talvez resultado de problemas de amostragem ou análise laboratorial.

Os níveis baixos de K (IAPAR, 1980) no solo LVAd demonstram que as práticas culturais aplicadas a lavoura de grama resultam em remoção de grandes quantidades do elemento do solo (figura 18). A lavoura de grama apresenta grande potencial de exportação de nutriente em função da forma de colheita, que envolve a retirada da parte aérea, das raízes e de porção de 3 a 5 cm do solo. FAVARETTO (1996) verificou redução significativa dos teores de K do solo devido a exportação da parte aérea de forrageiras. Explicam-se, assim os baixos teores de K (IAPAR, 1980) encontrados no solo LVAd, tanto na prática de manejo convencional, quanto com o

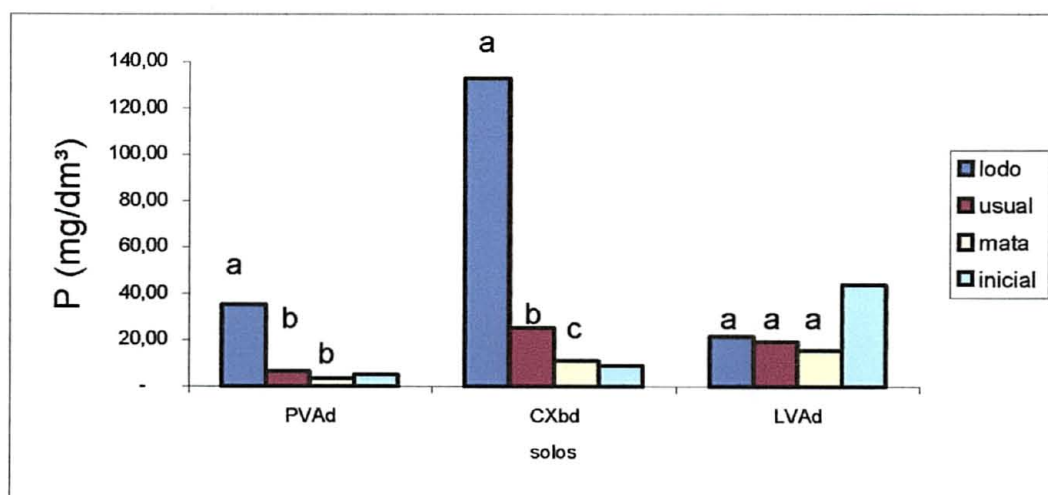
uso de lodo.

Os resultados obtidos indicam que o lodo influenciou positivamente o teor de K dos solos avaliados, apresentando resultados superiores aos observados nas áreas trabalhadas com as práticas usuais de manejo dos agricultores. Não afirma-se, contudo, que a aplicação de potássio pode ser reduzida em função da adição de lodo, pois os resultados apontados pela literatura são contraditórios para que se possa assumir com segurança uma posição quanto a esta perspectiva.

5.6.9. Fósforo

Os teores de fósforo, foram influenciados pela aplicação de lodo em todos os solos, no entanto, apenas as variações encontradas nos solos PVAd e CXbd foram confirmadas estatisticamente (figura 19).

FIGURA 19. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE O TEOR DE P NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



As áreas sob cultivo apresentaram maiores teores de P em relação as áreas sob condições naturais para todos os solos, resultado das práticas de adubação. Entre os solos cultivado, os maiores níveis do elemento foram observados nas áreas onde houve aplicação de lodo, concordando com resultados de obtidos por outros autores. Em todos os solos os teores nas parcelas adubadas com lodo foram altos (IAPAR, 1981).

SIMONETE et al. (1999) verificaram que os teores de P do solo foram proporcionais a aplicação de lodo, chegando a dobrar na maior dosagem. efeitos semelhantes foram observados por FAVARETTO et al. (1997), ANDREOLI (1999), Da ROS et al. (1993), SILVA et al. (1998), BERTON et al. (1989) e BARBOSA (2000). É importante destacar que alguns autores verificaram este efeito mesmo sem a complementação mineral de P, sugerido em algumas literaturas quando da utilização de lodo (MARCHIORI JUNIOR et al., 1998; FAVARETTO et al., 1997, BERTON et al., 1989; LUCCHESI, 1997; WISNIEWSKI et al., 1996)

Estes resultados demonstram que lodo pode constituir uma fonte efetiva de P para as plantas, como afirmam SILVA et al. (1998), BERTON et al. (1997) e BERTON et al. (1989). Os principais fatores associados ao aumento dos níveis de P devido a utilização do lodo, segundo a literatura são: quantidade adicionada ao solo através do lodo (BERTON et al., 1997; FAVARETTO et al., 1997), aumento do pH (FAVARETTO et al., 1997; CLAPP et al., 1986), estímulo à comunidade microbiana do solo (ANDREOLI et al., 1993 e CLAPP et al., 1986)

A despeito dos níveis altos de P (IAPAR, 1980; COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO -RS/SC, 1989) observados no solo CXbd com a aplicação do lodo (19), esta disponibilidade pode ser limitada pelos níveis de pH (CaCl_2) acima de 7,5 atingidos neste solo (figura 14). ANJOS (1999) observou deficiência de P em milho após aplicações de 388 t M.S. de lodo/ha, totalizando 3.384 kg/ha de P, devido ao aumento de pH (H_2O) do solo a níveis acima de 7,0.

RAIJ (1998) relata que o aumento dos teores de P podem ser facilmente acompanhados com a aplicações de lodo ao solo, no entanto, recomenda a utilização de método mais preciso para a avaliação da real biodisponibilidade do elemento, principalmente em biossólidos alcalinizados. Nestes materiais o P pode constituir compostos menos solúveis com Ca (RAIJ, 1993; BRADY, 1989) e com a matéria orgânica, que estariam sendo mensurados devido ao ataque ácido do extrator MELICH(RAIJ, 1993).

BERTON et al. (1997) concluíram que tanto o método da resina trocadora de ânions como o MELICH foram adequados para avaliação da disponibilidade de P em solos adubados com lodo, a resina, porém, foi mais eficiente em solos com alta capacidade de absorção do elemento. Resultados de MARQUES (1997) e , apontam acréscimos proporcionais às doses de lodo utilizadas (40, 80 e 160 t/ha) para P avaliado pelo método resina em Latossolo sob cultivo de cana. MARCHIORI JUNIOR et al. (1998) encontraram resultados ainda mais expressivos avaliando as entrelinhas da cultura, adubadas apenas com lodo, quando na maior dosagem os teores P no solo chegaram a 170 ppm.

5.7. POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS PESADOS EM TRÊS SOLOS TRATADOS COM LODO DE ESGOTO, NA RMC

5.7.1. Caracterização física e química dos solos selecionados para monitoramento

Os solos selecionados representam condições fisiográficas e geológicas representativas das áreas adubadas com lodo de esgoto entre setembro de 2000 e março de 2002 na RMC. Como se verifica na tabela 62, a distribuição destas áreas predominou sobre os materiais geológicos da Formação Guabirota (41,87%) e do Complexo Cristalino (47,18%).

TABELA 62. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E GEOLÓGICAS DOS SOLOS ADUBADOS COM LODO NA RMC.

| Material Geológico | Unidades de Solo Predominantes | Área Utilizada com Lodo | % da Área Total Utilizada | Município | Distrito |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|---|
| Formação Guabirota | LVAd, CXbd, Cxba, PVAd | 204,50 | 41,87 | Fazenda Rio Grande | Faz. Iguaçu BR-116 Passo amarelo Parque Verde |
| | | 64,85 | 13,28 | Campo Largo | Colônia Balbino Cunha |
| Complexo Cristalino | PVAd, LVAd, LVe, CXbd | 36,20 | 7,82 | Araucária | Guajuvira Onças Rio Abaixo |
| | | 56,00 | 11,47 | Contenda | Camandá |
| | | 45,20 | 9,23 | Mandirituba | Campestre Guapiara Santo amaro Matos |
| | | 26,30 | 5,38 | Balsa Nova | Rio Verde Bugre |
| | | | | | |
| Grupo Açungui Formação Capiçu | CXbd, LVAd, PVd | 7,90 | 1,63 | Campo Largo | Bateias |
| Formação Guabirota | LVAd | 22,00 | 4,50 | São José dos Pinhais | Roça Velha |
| Material Sedimentar | CXbd | 17,50 | 3,58 | Lapa | |
| Grupo Açungui | CaXbd | 6,00 | 1,23 | Colombo | Sítio Caqui |
| TOTAL | | 486,50 | 100 | | |

Assim, foram selecionadas três áreas, duas sobre o material do Complexo Cristalino e uma sobre a Formação Guabirota. Na Formação Guabirota a unidade de solo na área selecionada é um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVAd), e sobre o Complexo Cristalino, um Cambissolo de textura argilosa (CXbd) e um Argissolo Vermelho-amarelo textura média/argilosa (PVAd).

As características físicas e químicas dos solos, avaliados após 6-12 meses de aplicação do lodo, são apresentadas na tabela 63.

TABELA 63. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FÍSICAS DOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd.

| Solo | Manejo* | pH CaCl ₂ | T | V % | C | Argila |
|------|---------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------------|--|
| | | | cmolc/dm ³ | | g/dm ³ | % |
| PVAd | C | 5,40 – 5,90 | 9,20 – 10,10 | 56,04 – 68,32 | 11,20 – 13,00 | 32,20 ¹ 45,52 ² |
| | L | 6,20 - 6,60 | 10,25 - 13,39 | 76,10 - 81,95 | 13,00 - 19,00 | 32,58 ¹ 44,50 ² |
| | M | 4,40 - 4,50 | 10,89 - 11,49 | 30,29 - 37,34 | 17,80 - 24,50 | 26,44 ¹ 50,99 ² |
| CXbd | C | 5,40 - 5,80 | 11,25 - 14,04 | 64,23 - 71,82 | 13,00 - 18,40 | 33,52 ¹ 36,65 ² |
| | L | 7,30 - 8,00 | 16,59 - 19,31 | 90,36 - 94,82 | 13,60 - 23,20 | 30,51 ¹ 27,55 ² |
| | M | 4,60 - 4,80 | 12,04 - 14,64 | 46,83 - 50,82 | 18,40 - 34,70 | 26,37 ¹ 28,80 ² |
| LVAd | C | 5,50 - 6,00 | 9,15 - 14,15 | 65,03 - 77,39 | 17,20 - 26,90 | 44,68 ¹ 60,55 ² |
| | L | 5,20 - 5,40 | 12,37 - 14,47 | 40,32 - 64,46 | 23,20 - 30,50 | 62,98 ¹ 70,15 ² |
| | M | 4,20 - 4,50 | 17,29 - 19,57 | 30,02 - 46,35 | 34,10 - 40,20 | 50,10 ¹ 50,10 ² |

* C=Cultivo usual; L = Cultivo usual + lodo; M = Não cultivada.

¹ 0 - 20 cm² 20 - 40 cm

5.7.2. Teores de metais pesados

Os teores de Pb, Ni, Cr, Cu e Zn observados nos solos pesquisados são apresentados nas figuras 19, 20, 21, 22 e 23. Para Cd e Hg, os valores obtidos sempre foram inferiores aos limites de detecção, 3 ppm e 50 ppb, respectivamente.

TABELA 64. TEORES MÉDIOS DE METAIS PESADOS NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd E PARÂMETROS INTERNACIONAIS.

| Solo | Hg | Cd | Zn | Cu | Ni | Pb | Cr |
|----------------------------|---------|-------|--------|----------|--------|-----------|----------|
| | mg/kg | | | | | | |
| LVAd | <0,05 | <3,00 | 66,75 | 35,75 | 28,50 | 87,25 | 63,25 |
| PVAd | <0,05 | <3,00 | 55,75 | 22,50 | 62,00 | 107,50 | 99,50 |
| CXbd | <0,05 | <3,00 | 83,75 | 65,50 | 155,50 | 74,50 | 271,25 |
| Nível Crítico ¹ | 0,3 - 5 | 3 - 8 | 70-400 | 60 - 125 | 100 | 100 - 400 | 75 - 100 |
| CEE ² | 1 | 1 | 300 | 140 | 75 | 300 | 150 |
| EUA ³ | 8 | 20 | 1400 | 750 | 210 | 300 | 1500 |

¹ KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992)² HALL (1998)³ USEPA (1997)

Utilizando diferentes níveis de detecção para Cd em solos, SOUZA et al. (1996) – 3,00 ppm, LUCCHESI (1997) – 0,01 ppm e ANDREOLI (1999) – 1 ppm, não se obteve sucesso na determinação dos níveis deste elemento em solos nos principais domínios geológicos do Estado do Paraná, confirmando, assim, os baixos teores dos elementos nos solos da RMC apontados pelo levantamento geoquímico realizado pela MINEROPAR (2001), de 0,10 a 0,20 ppm para sedimento de fundo.

Para o Hg, a metodologia se apresentou adequada às legislações internacionais e nacionais para aplicação de resíduos e poluição dos solos, que estabelecem níveis restritivos entre 0,2 e 8 ppm.

Em relação ao Cd, no entanto, o patamar de 3 ppm é superior a maioria das legislações dos países europeus, onde os níveis restritivos variam de 0,5 a 3 ppm. Embora represente um limite muito inferior ao da USEPA (20 ppm), a utilização de metodologias que permitam limites de detecção mais precisos é fundamental para que se possa mensurar com maior precisão o impacto do lodo sobre o conteúdo original do elemento no solo.

Os teores de Cu e Zn observados estão coerentes com os encontrados por SANTOS FILHO e ROCHA (1982), SANTOS FILHO (1983) e VALADARES e CATANI (1974) e pouco superiores aos de LUCCHESI (1997) e CETESB (2002) para solos de mesmo material de origem. SOUZA et al. (1996) encontrou teores de Cu inferiores ao limite de detecção (10,20 mg/kg) e de Zn entre 10,02 e 56,79 mg/kg para solos originários de material sedimentar no Estado do Paraná. As diferenças encontradas devem-se às diferentes metodologias de extração utilizadas, a variabilidade natural proporcionada pela localização e ao grau de intemperismo dos solos, mesmo que sobre o mesmo material de origem.

O conteúdo de Zn nestes solos enquadrou-se satisfatoriamente entre os níveis referenciados por KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) e apresentam-se adequados para disposição de lodo segundo as diretrizes da CEE e dos EUA. Os níveis de cobre nos solos PVAd e LVAd são inferiores aos apontados por KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992). Nestes níveis, podem até ocorrer deficiências ao

desenvolvimento vegetal (SANTOS FILHO e ROCHA, 1982). Portanto, a quantidade aplicada, via biossólido, pode contribuir na correção de eventuais problemas desta magnitude, seja para o Zn ou para o Cu.

Os teores de Ni nestes solos variaram de 25 a 87 ppm no solo LVAd, 59 a 100 ppm no PVAd e 85 a 433 ppm no solo CXbd, apresentando ainda, grande variabilidade entre as subamostras, especialmente no solo CXbd. Para o Pb a variação entre as unidades amostradas não foram tão expressivas, e este elemento foi detectado em maior quantidade no solo PVAd. O atlas geoquímico do Paraná (MINEROPAR, 2001) aponta teores mais altos deste elemento em sedimento de fundo de rios nesta porção da RMC. Em relação ao Cr, observou-se tendência e proporções semelhantes ao Ni, com maiores teores na ordem LVAd, PVAd e Ca (tabela 64).

Os teores de Cr, Ni e Pb, em geral mostraram-se superiores aos referências apontados por LUCHESI (1997) e SOUZA et al. (1996) para solos em condições fisiográficas e geológicas semelhantes, especialmente no solo CXbd, que pode ser resultado da variabilidade natural, material de origem, localização e grau de intemperismo dos solos.

Estes elementos são limitantes segundo as referências de KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992) e da CEE apenas no solo CXbd (tabela 4). É importante, porém, ressaltar que a metodologia de análise utilizada neste trabalho determina níveis de metais superiores ao método de extração com HNO_3 e água régia, bastante difundidos mundialmente e referencial para a maioria das legislações.

Os níveis de Ni, Cr, Pb e Zn no solo CXbd são próximos aos encontrados por SOUZA et al. (1996) e ANDREOLI (1999) para solos formados a partir de rochas básicas, normalmente ricas nestes elementos, e intermediários entre os encontrados por LUCHESI (1997) para solo de basalto e migmatito, sugerindo assim, a possibilidade deste solo ter recebido contribuição de rochas básicas (diques de diabásio) na sua formação. Estas formações geológicas são relativamente comuns no primeiro planalto paranaense (MAACK, 1968).

Em relação às unidades LVAd e PVAd, os elementos tenderam a se

concentrar mais no solo sobre o complexo migmático (PVAd).

5.7.3. Efeito do lodo de esgoto e do uso da terra sobre os teores de metais pesados.

Foram analisados apenas os elementos Cr, Pb, Cu, Zn e Ni, uma vez que os teores de Hg e Cd estiveram sempre abaixo do limite de detecção. A análise de variância indicou efeito variável das condições de uso da terra sobre os teores de metais pesados entre os diferentes solos (tabela 65).

TABELA 65. VALORES DE "F" PARA A FONTE DE VARIACÃO "USO DE LODO DE ESGOTO CALEADO" NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd "

| Solo | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| LVAd | 0,1127ns | 0,0435 * | 0,3358ns | 0,2034ns | 0,0002 ** |
| PVAd | 0,0010 ** | 0,0001** | 0,0022 ** | 0,0286 * | 0,0630ns |
| CXbd | - ns | 0,0231 * | 0,0200 * | 0,0053 ** | 0,0000 ** |

* - significativo a 1%

** - significativo a 5%

Variações dos conteúdos de metais pesados em função do uso do solo são apontados por diversos autores, principalmente para os elementos Cu e Zn. MATOS e MIYAZAWA (1995) verificaram incrementos de Cu e Zn em função da aplicação de fungicidas. HOLMGREEN et al. (1993) verificaram que o uso do solo para produção agrícola provocou aumento nos teores de Zn e Cu, e em menores proporções sobre Pb e Ni em solos Norte Americanos. SOUZA et al. (1996) aponta acúmulo de Cu em superfície de solos cultivados. PAVAN et al. (1994) também evidenciaram acúmulo de Cu em solo cultivado com café.

A prática da agricultura contribui para o aumento dos teores de metais pesados nos solos pela adição através de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas, adubos orgânicos e lodo de esgoto. A prática agrícola altera, também, diversas propriedades do solo, entre elas pH, matéria orgânica, CTC e minerais, associadas a presença e dinâmica destes elementos no solo (MATIAZZO-PREZOTO e GLÓRIA, 2000, BERTON, 2000).

Em relação a profundidade, a análise de variância apontou diferença estatisticamente significativa ($\alpha=0,05$) para o Pb no solo LVAd e para o Cr, no solo

PVAd (tabela 66).

TABELA 66. VALORES DE "F" PARA A FONTE DE VARIÁÇÃO "PROFUNDIDADE" NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd

| Solo | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| LVAd | -ns | 0,1356ns | -ns | 0,0147 * | -ns |
| PVAd | 0,0100 * | -ns | 0,1299ns | 0,2732ns | -ns |
| CXbd | -ns | 0,2170ns | -ns | -ns | 0,1523ns |

* - significativo a 1%

A concentração maior em profundidade é consequência provavelmente dos teores mais elevados de argila nesta porção do perfil do solo PVAd, resultado do processo de formação destes solos. SOUZA et al. (1996) observou diferença estatisticamente significativa em profundidade somente para o Cr, com valores mais elevados em profundidade.

Estes resultados, no entanto, não foram influenciados pelas condições de uso, uma vez que a análise variância não identificou interação entre estes fatores para nenhum dos elementos (tabela 67), sendo, portanto, característicos destes solos.

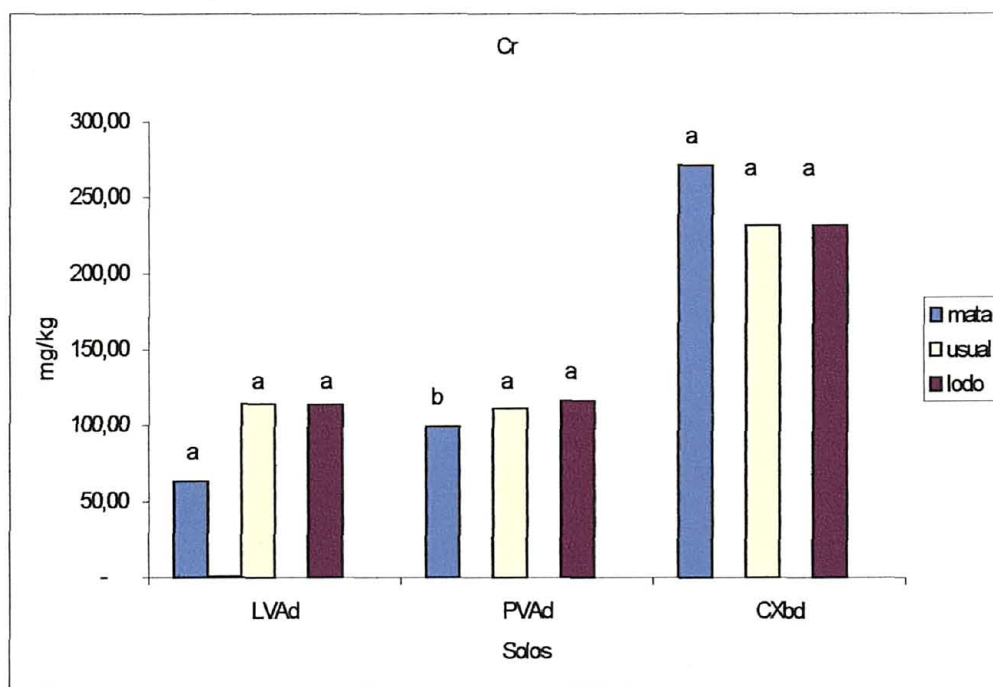
TABELA 67. VALORES "F" PARA A INTERAÇÃO "PROFUNDIDADE"X "CONDIÇÕES DE USO NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd

| Solo | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------|-----|----------|----------|----------|----------|
| LVAd | -ns | -ns | 0,1332ns | -ns | -ns |
| PVAd | -ns | 0,1630ns | -ns | -ns | -ns |
| CXbd | -ns | -ns | -ns | 0,2847ns | 0,1232ns |

5.7.3.1. Cromo

Verificou-se que a utilização do lodo de esgoto não alterou significativamente os teores de Cromo em relação às áreas de cultivo intensivo em nenhum dos solos avaliados (figura 20). Observou-se ainda que as diferenças em relação aos solos sob condições naturais (mata) também não foram influenciadas pela aplicação do lodo para nenhum dos solos.

FIGURA 20. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Cr NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



Assim, nos solos LVAd e PVAd a tendência observada foi de aumento nos teores de Cr, com o cultivo intensivo do solo. No solo CXbd, ao contrário, a tendência foi de redução. Embora as médias apontem teores bastante distintos de Cr entre os solos cultivados e de sob condições naturais nos solos LVAd e PVAd, encontrou-se grande variabilidade nas coletas sobre estas áreas, não permitindo a diferenciação dos efeitos do cultivo.

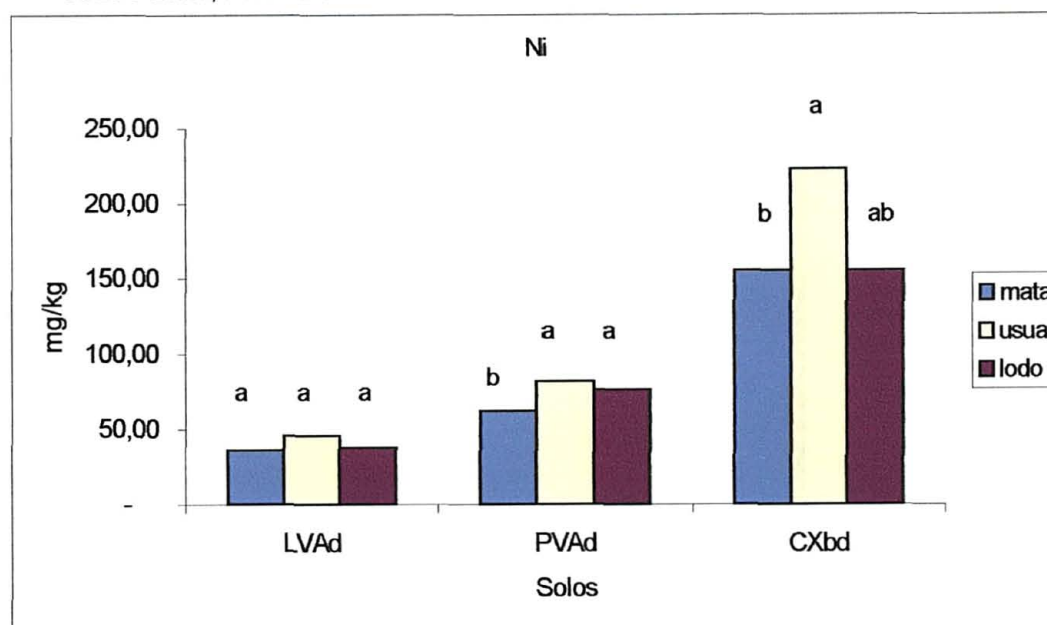
No solo PVAd, acredita-se que esta variabilidade ocorra em função do manejo do solo, com cargas de metais frequentes através de corretivos, adubos orgânicos e fosfatados e a retirada de porção de 2 a 5 cm do solo junto aos tablets de grama na colheita. Os teores de Cr observados em profundidade neste solo apresentaram tendência de aumento e a exposição de porções do perfil mais profundas podem ter contribuído para o aumento dos teores em superfície.

Para o solo CXbd, observou-se que os teores encontrados nos solos sob condições naturais foram, em geral homogêneos (271 ± 10 mg/kg) e intermediários aos obtidos nos solos cultivados com lodo e sem lodo, que apresentaram variações expressivamente superiores $232 \pm 66,4$ mg/kg e $232 \pm 61,6$ mg/kg, respectivamente.

5.7.3.2. Níquel

Os níveis de Ni foram influenciados significativamente pelas práticas agrícolas nos solos PVAd e CXbd (figura 21). No solo LVAd a análise de variância não apontou diferença estatística.

FIGURA 21. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Ni NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



De forma semelhante ao verificado com o cromo, os níveis de níquel nos solos cultivados com ou sem lodo foram estatisticamente iguais. Estes resultados confirmam a hipótese de que a carga destes elementos adicionada através do lodo de esgoto (tabela 68) é pouco significativa frente ao conteúdo natural de Ni e Cr nestes solos.

TABELA 68. CARGA DE METAIS PESADOS ADICIONADAS AOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO.

| Solo | Lodo t M.S. /ha | Ni | | Cr | | Pb | | Zn | | Cu | |
|------|--------------------|--------|------|----------|------|--------|------|-----------|------|----------|------|
| | | g/ha | ppm | g/ha | ppm | g/ha | ppm | g/ha | ppm | g/ha | ppm |
| LVAd | 5,18 | 118,10 | 0,06 | 164,21 | 0,08 | 185,44 | 0,09 | 2.211,86 | 1,11 | 409,22 | 0,20 |
| PVAd | 6,27 | 158,00 | 0,08 | 184,97 | 0,09 | 143,58 | 0,07 | 2.437,15 | 1,22 | 507,24 | 0,25 |
| CXbd | 44,94 | 593,66 | 0,30 | 1.776,03 | 0,89 | 981,49 | 0,49 | 13.996,11 | 7,00 | 2.762,01 | 1,38 |

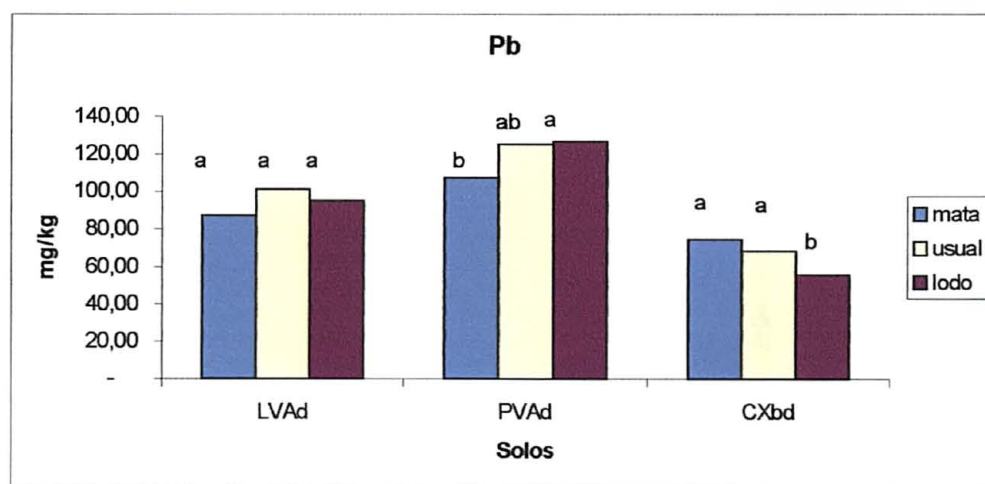
ANDREOLI (1999) não verificou diferença estatística nos teores de Cr e Ni com aplicações de até 36 t (M.S.)/ha de lodo em solos argilosos ou arenosos. Neste, no entanto, os resultados apontaram tendência de concentração. CLAPP et al. (1986)

aponta aumento na concentração destes elementos em solos agrícolas adubados com lodos de esgoto quando estes apresentam teores elevados e com a utilização de altas dosagens.

5.7.3.3. Chumbo

As quantidades de Pb adicionadas a estes solos com o lodo também foram insuficientes para provocar acréscimo no teor deste elemento aos solos avaliados. No solo LVAd, as condições não resultaram em alteração estatisticamente significativa sobre os teores de Pb (figura 22). Para o solo PVAd, assim como ocorreu com os elementos Ni e Cr, os teores de Pb foram iguais nas porções adubadas ou não com lodo.

FIGURA 22. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Pb NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



No solo CXbd, a área adubada com lodo apresentou teores significativamente inferiores em relação às porções sob condições naturais e de agricultura sem aplicação de lodo. A adição de lodo em grande dosagem (44,94 t M.S./ha) neste solo pode ter mascarado o resultado das análises, proporcionando teores menores. Algumas amostras apresentaram problemas na digestão ácida durante as análises, justificaram-se estes problemas pela aplicação do lodo.

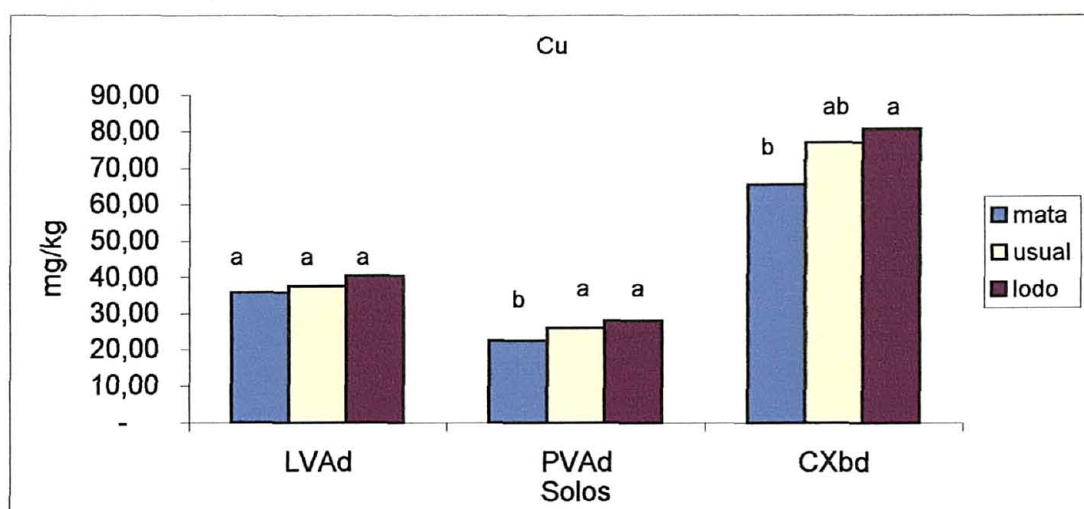
A aplicação do lodo poderia ter proporcionado alteração na distribuição do elemento entre as diversas formas de fracionamento, como apontado por SILVA

(1999) e MIYASAWA (1999), no entanto, sobre os níveis totais não deveria ter resultado em alteração tão expressiva.

5.7.3.4. Cobre

Depois do Zn, o Cu é o elemento mais abundante nos lodos aplicados a estes solos (tabela 27). As quantidades adicionadas, no entanto, não resultaram em acréscimo significativos em relação aos solos sob cultivo agrícola e não adubados com lodo (figura 23).

FIGURA 23. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Cu NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



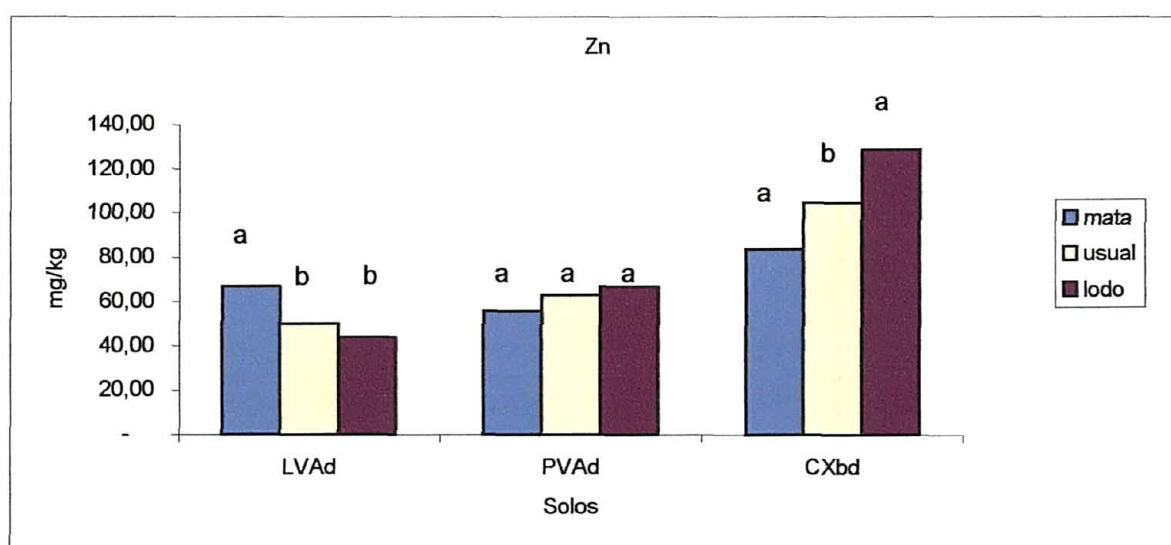
Confirmando a tendência apontada por SOUZA et al. (1996) e HOLMGREEN et al. (1993), o Cu foi detectado em níveis superiores nos solos cultivados em relação aos sob condições naturais (mata). Estes incrementos são resultantes de adições do elemento através de fertilizantes minerais, corretivos e adubos orgânicos e da alteração dos constituintes naturais do solo que interferem na dinâmica do elemento.

A tendência de incremento apontada na figura 4 em função da aplicação de lodo não foi estatisticamente significativa e deve-se grande variabilidade do elemento no solo (anexo 5).

5.7.3.5. Zinco

O Zn foi o metal pesado adicionado em maior quantidade nestes solos (tabela 8). Nos solos CXbde PVAd, observou-se tendência de incremento nos níveis de Zn do solo em função da adição de lodo (figura 24). Para o solo CXbd, esta tendência foi confirmada pela análise estatística provavelmente em função da dosagem muito superior aplicada nesta área. ANDREOLI (1999) também verificou tendência de incremento dos níveis de Zn total no solo, proporcionais às doses de lodo utilizadas.

FIGURA 24. EFEITO DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO CALEADO SOBRE OS TEORES DE Zn NOS SOLOS LVAd, PVAd E CXbd



Os incrementos podem ser consequência da maior quantidade de Zn adicionada a este solo através do lodo e, mobilização de formas do elemento ligadas a compostos estruturais do solo. HENNEBRG (2000) observou mudanças na distribuição do Zn entre as diversas formas no solo após aplicação de lodos.

No solo LVAd, observou-se tendência contrária aos outros solos, com redução dos teores de Zn com a atividade agrícola. Esta fato ocorreu na unidade com aplicação de lodo e na unidade cultivada de forma tradicional.

O Zn foi o único elemento, entre os avaliados, cuja concentração no solo foi estatisticamente influenciada pela adição de lodo, e ainda assim, apenas no solo CXbd. O incremento verificado neste solo possivelmente tenha ocorrido em função da quantidade de lodo aplicada (44,94 t M.S./ha e 13,996 Kg Zn).

Os teores observados, contudo, não representam entrave para futuras aplicações de lodo, uma vez que atendem as diretrizes da CEE e dos EUA para carga máxima anual e carga cumulativa máxima de metais nos solos agrícolas para aplicação de lodo.

Segundo a diretiva da CEE e as referências de KABATA-PENDIAS e PENDIAS (1992), porém, este solo apresenta teores de Cr e Ni acima dos limites máximos admitidos para aplicação de lodo (tabela 4). Três considerações devem ser ressaltadas neste caso:

- a) o método analítico utilizado neste trabalho, digestão com ácidos $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HCl}$, resulta em níveis de metais maiores que os métodos utilizados nestas legislações (HNO_3 e *água régia*).
- b) os teores destes elementos foram elevados sob as três condições de manejo estudadas e portanto, provavelmente sejam resultantes do material de origem.
- c) as áreas adubadas com lodo não diferiram das áreas sob manejo usual, portanto o lodo não teve influência sobre os teores observados.

Os teores totais de metais determinados através da metodologia utilizada não permitem conclusões seguras acerca do efeito do lodo sobre os teores de metais pesados do solo. A metodologia utilizada consiste em ataque de ácido fortes que extraem elementos estruturais do solo, resultando em níveis elevados. Os metais adicionados através do lodo a curto prazo permanecem em frações mais lábeis que com o tempo vão se transformando em ligações mais fortes e estruturais, reduzindo significativamente o potencial de risco dos metais. A curto prazo, porém estes elementos estariam em formas que oferecem maior risco e que seriam mascaradas pelos elevados teores obtidos com a metodologia utilizada.

A utilização de extratores que avaliam os teores trocáveis de metais no solo também não são totalmente ajustáveis ao propósito da avaliação de riscos. Estas metodologias avaliam os teores disponíveis (trocáveis) dos elementos, contudo, estes resultados são amplamente variáveis em função de condições do solo como pH, CTC, óxidos e matéria orgânica cujas variações proporcionam incremento ou redução dos teores obtidos no momento da coleta.

6. CONCLUSÕES

- a) A produção atual de lodo de esgoto em Curitiba concentra-se principalmente na ETE-Belém, com uma produção diária aproximada de 9,6 t M.S. A produção, no entanto, deve aumentar a curto prazo com as perspectivas de descarte de lodo dos novos sistemas, gerando uma expectativa de produção de 120 t (13 a 15% M.S.) diárias de lodo, demonstrando que a disposição do lodo é um dos grande desafios da SANEPAR na RMC;
- b) As alternativas de disposição final do lodo de esgoto gerado atualmente adotadas em Curitiba são a reciclagem agrícola e disposição em lagoas de secagem nas proximidades da ETE Belém. Com a saturação, estas lagoas devem ser esvaziadas e a reciclagem agrícola tende a tornar-se a principal alternativa de disposição;
- c) Entre setembro de 2000 e março de 2002 foram aplicadas em solos da RMC 3.753,52 t M.S. de lodo de esgoto, beneficiando 27 agricultores num total de 486,50 ha;
- d) Os lotes de lodo distribuídos aos agricultores da RMC foram previamente submetidos a processo de desinfecção/estabilização alcalina através da adição de cal virgem na dosagem de 50% M.S., e estocados por período mínimo de 30 dias, garantindo a segurança sanitário do resíduo;
- e) Os teores de nutrientes do lodo de esgoto caleado reciclado na RMC apontam teores significativos de N e P. O processo de higienização aumenta sua capacidade de correção do solo e adiciona ao resíduo grande quantidade de Ca e Mg, melhorando seu valor agronômico;
- f) O processo de higienização através da caleação mostrou-se eficiente para melhoria do padrão sanitário dos lotes de lodo distribuídos aos agricultores. Os teores de coliformes fecais foram reduzidos abaixo dos limites de detecção em todos os lotes. Cistos de protozoários foram encontrados em apenas um lote, e em níveis muito inferiores aos padrões de qualidade internacionais;

- g) Quatro lotes apresentaram níveis acima de 0,25 ovos viáveis de helmintos/g M.S., no entanto, os riscos sanitários foram minimizados pela adoção de medidas mitigadoras.
- h) O patógeno encontrado com maior frequência nos lotes de lodo distribuídos aos agricultores foi o *Ascaris sp.*, presente em 92,86 % dos lotes, caracterizando sua capacidade de sobrevivência a variações bruscas do meio; foi também o principal parasita nos lotes que excederam os padrões do IAP, atenuando os riscos sanitários do resíduo;
- i) Apenas o lote 7/8 apresentou ovos viáveis de *Taenia sp.* considerado o patógeno que oferece maiores riscos à saúde da população, mas em concentração baixa (0,07 ovos viáveis / g M.S.), eliminando os riscos de contaminação;
- j) O nível de controle sanitário do lodo disponibilizado aos agricultores é compatível com o uso agrícola segundo as principais legislações mundiais sobre o tema, demonstrando os critérios rigorosos de segurança adotados pela IN IAP;
- k) Os teores de metais pesados de todos os lotes de lodo reciclados na RMC foram significativamente inferiores aos limites normativos. O elemento em maior concentração é o Zn, no entanto em níveis adequados, representando 21 % do limite máximo permitido no lote com maior nível de contaminação;
- l) Embora praticamente a totalidade dos agricultores que aplicaram lodo tenham considerado o odor do material repulsivo, a maioria dos lotes apresentou grau de estabilidade adequado;
- m) As gramíneas constituíram as principais culturas nos solos onde o lodo foi aplicado, representando 87,22 % das áreas e consumindo 82,8% do lodo reciclado na RMC. A principal espécie cultivada foi o milho em 252,90 dos 486,55 ha adubados com lodo, seguido por pastagens (151,5 ha), fruticultura (42,20 ha) grama (17,00 ha), feijão (15,0 ha) e erva mate (7,95 ha);
- n) Não foi verificada sazonalidade da demanda pelo resíduo para nenhuma das culturas, principalmente em função da oferta limitada de lodo;
- o) As taxas de recomendação de adubação foram calculadas em função da

- necessidade de correção dos solos e a necessidade de N da cultura, adotando-se o critério mais restritivo para cada área;
- p) A taxa média de aplicação foi de $7,98 \pm 4,58$ t M.S./ha. As maiores dosagens foram empregadas para frutíferas e milho;
 - q) A carga de metais aplicada aos solos foi muito inferior aos padrões máximos anuais admitidos pelas normatizações da CEE e dos EUA, demonstrando a qualidade do lodo utilizado na RMC;
 - r) O relevo foi o principal fator determinante da classe de aptidão dos solos onde o lodo foi aplicado. A fertilidade do solo apresentou-se como fator de limitação apenas em 7,41% das áreas fertilizadas com lodo, onde a saturação por bases foi superior a 60%;
 - s) A aceitabilidade do lodo entre os agricultores que utilizaram o resíduo foi de 88,23%, apenas 2 produtores não demonstraram interesse em aplicar lodo novamente;
 - t) Entre os agricultores que utilizaram lodo 64,71% possuem pelo menos o 1º grau completo e 82,35% enquadram-se como pequenos e médios produtores;
 - u) O odor foi o principal problema da utilização do lodo segundo 94,12 % dos produtores, seguido pela dificuldade de aplicação, apontada por 70,59% e pela época de distribuição, com 29,41%;
 - v) A dificuldade de aplicação também foi apontada por 47,06% dos produtores como o principal fator relacionado a estocagem do lodo nas propriedades, seguido pelas condições climáticas, também com 47,06% dos entrevistados;
 - w) Entre os aspectos sugeridos pelos agricultores para melhoria do programa destacaram-se: disponibilização de equipamento de aplicação mais adequado às características dos produtores, apontado por 76,47%, redução do teor de umidade do lodo (41,18%) e minimização do odor (29,41%);
 - x) A aplicação de lodo reduziu significativamente a acidez potencial nos solos PVAd e CXbd quando comparado aos tratamentos seguindo as práticas usuais de manejo destas áreas (figura 12), enquanto a baixa dosagem incorporada ao solo LVAd

mostrou-se menos eficiente.

- y) o lodo influenciou positivamente o teor de K dos solos avaliados, apresentando resultados superiores aos observados nas áreas trabalhadas com as práticas usuais de manejo dos agricultores. Não afirma-se, contudo, que a aplicação de potássio pode ser reduzida em função da adição de lodo, pois os resultados apontados pela literatura são contraditórios para que se possa assumir com segurança uma posição quanto a esta perspectiva.
- z) A utilização do lodo de esgoto afetou significativamente os teores de Ca e Mg dos solos PVAd e CXbd, não apresentando efeitos significativos sobre o solo LVAd, provavelmente em função da baixa taxa de aplicação;
- aa) A aplicação de lodo de esgoto calcado promoveu aumento significativo dos teores de P dos solos CXbd e PVAd, não influenciando o elemento no solo LVAd
- bb) Embora a análise estatística não tenha apontado resultado significativo, os teores de C nas áreas adubadas com lodo foram superiores, nos três solos, quando comparados às áreas onde o material não foi aplicado
- cc) A CTC (figura 12) mostrou comportamento semelhante ao C, com as áreas adubadas com lodo apresentando níveis superiores às áreas sob condições usuais de cultivo.
- dd) Os teores de Hg e Cd estiveram abaixo dos níveis de detecção em todas as áreas avaliadas.;
- ee) Os teores totais de Cr, Ni, Pb e Cu e Zn dos solos não foram influenciados pela aplicação do lodo nos solos PVAd e LVAd. No solo CXbd os teores de Pb e Ni apresentaram tendência de redução com o uso do lodo, enquanto os níveis de Cu e Zn apresentaram tendência de aumento, e o Cr mostrou-se indiferente;
- ff) As áreas sob condições naturais (mata) apresentaram comportamento variável quanto a concentração dos metais pesados,: Cu e Zn foram verificados inferiores (exceto Zn no solo LVAd), Pb, Ni e Cr foram encontrados em níveis inferiores ou estatisticamente iguais aos solos cultivados com ou sem lodo (exceto Pb no solo CXbd, em nível superior).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados obtidos, conclui-se que o uso agrícola do lodo de esgoto caçado na RMC apresenta elevado grau de segurança do ponto de vista sanitário, agronômico e ambiental, embora tenham sido observados alguns problemas operacionais e de sanidade, pontuais em alguns lotes.

Os critérios rígidos adotados para utilização do lodo de esgoto no Paraná reduzem substancialmente os riscos potenciais destas falhas, não colocando em risco a população ou o meio ambiente.

Como sugestões, tendo em vista os resultados obtidos, destaca-se a necessidade de melhoria no processo de produção de lodo higienizado, principalmente nos aspectos de dosagem de cal, homogeneização da mistura lodo + cal e condições de estocagem.

Sob o aspecto agronômico, o programa pode ser melhorado do ponto de vista operacional e de segurança dos trabalhadores rurais com o desenvolvimento de um equipamento de aplicação mais adequado às características dos pequenos e médios agricultores da região, o que resultará ainda em melhoria da aceitabilidade do material.

O monitoramento do valor agronômico do lodo deve ser adequado às exigências mínimas exigidas pela IN IAP, embora alguns destes elementos não representem riscos ambientais, são importantes na avaliação da qualidade do lodo e do potencial agronômico.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6032. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004. Rio de Janeiro . 1987. 63p
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.005. Rio de Janeiro . 1987. 63p
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.006. Rio de Janeiro . 1987. 63p
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.007. Rio de Janeiro . 1987. 63p
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 Rio de Janeiro . 1987. 63p
- ABNT. **Numeração progressiva**, NBR 6024. Rio de Janeiro, 1989.
- AISSE, M. M. et al.. Tratamento e destino final do lodo gerado em reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Coord). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro : ABES/ PROSAB, 1999.
- AKRIVOS, J., Mamais, d., Katsara, K.; Andreadakis, A.. **Agricultural utilization of lime treated sewage sludge**. Grécia, 1999.
- ALBRECHT, C.R. Gaining and maintaining public acceptance. *BioCycle*, v.25, n.4, p.36-37, May/June 1984
- ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: BETTIOL, W e CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000 p. 11 - 108
- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. New York : J. Wiley & Sons, 1993.
- ANDRADE NETO, C. O. ; CAMPOS, J. R.. Capítulo 1: Introdução. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro : ABES : PROSAB, 1999.
- ANDREOLI, C. V ; PEGORINI, E.S. Gestão Pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. (orgs) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**.. Campinas, SP, 2000a p. 281-312.
- ANDREOLI, C. V. Apresentação. In.: ANDREOLI, C. V. ; BONNET, B. R. P. (Ed.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba : SANEPAR, 1998.
- ANDREOLI, C. V. ; FERNANDES, F . **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: França flash meio ambiente**. São Paulo: Cendotec, n.4, 1995.
- ANDREOLI, C. V. ; FERNANDES, F. ; DOMASZAK, S. C. (Coords.) **Reciclagem agrícola de lodo de esgoto: estudo preliminar para a definição de critérios para uso agrônomo e de parâmetros para a normatização ambiental e sanitária**. Curitiba : SANEPAR, 1997.
- ANDREOLI, C. V. ; FERNANDES, F. Aspectos metodológicos. In: ANDREOLI, C. V. ; LARA, A. I. ; FERNANDES, F. (Orgs.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba : SANEPAR, 1999.

ANDREOLI, C. V. ; FERNANDES, F. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. **Sanare**, Curitiba, v.6, n.6, 1996. p. 15-21

ANDREOLI, C. V. et al. A reciclagem agrícola de lodo de esgoto no Estado do Paraná. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. (1997 : Curitiba). **Anais**. Curitiba : [s.n.], 1997.

ANDREOLI, C. V. e SOUZA, M. L. P.. Bases para o uso agrícola do lodo de esgoto da ETE Belém. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (4 : 1994 : Florianópolis). **Anais**. Florianópolis : ABES/APRH, 1994.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. e SOUZA, M. L. P. Desenvolvimento de um sistema de avaliação da aptidão de solos e de impactos ambientais para a disposição agrícola do lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28 (7: 2001: LONDRINA, PR) **Anais**. Londrina: SBCS, 2001.

ANDREOLI, C.V. **Disposição final do lodo de esgoto da ETE Belém**. Curitiba: SANEPAR, 1988 (Datilografado). 90p.

ANDREOLI, C.V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agroecossistema**. Curitiba, 1999. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento - NIMAD) - Universidade Federal do Paraná. 279 p.

ANJOS (1999). **Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com biossólido e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho**. Piracicaba, 1999. 191 p. Tese (Doutorado em Agronomia) ESALQ

ARDERN, D. A.. The Agricultural use of Municipal Sludge. In: LOEHR, R. C. (ed). **Land as a Waste Management Alternative**, Michigan: Ann Arbor 1976 p.583 - 601

BARBOSA, G. M. C. **Avaliação dos efeitos do lodo de esgoto nas propriedades físicas e químicas de um latossolo roxo eutrófico após dois anos de uso contínuo**. Londrina, 2000. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências agrárias, Universidade Estadual de Londrina. 58p.

BARBOSA, G. M.; TAVARES, J.; FONSECA, I. Avaliações das propriedades físicas em latossolo roxo eutrófico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (XXVIII: 2001: Londrina-Pr). **Resumos...** Londrina: SBCS, 2001 p.15

BARRIOS, J.A., Rodriguez, A., Gonzales, A., Gimenez, B. Quality of sludge generated in waste water treatment plants in Mexico. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL. (25-27, 2001 - Acapulco, México). **Anais**: Acapulco: IWA, 2001 p 54-61

BATAGLIA, O C.; BERTON, R. S.; CAMARGO, O A e VALADARES, J. M. A S. Resíduos orgânicos como fontes de nitrogênio para capim braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p 277-284, 1983

BERTON, R. S.; PRATTI, P. F. et al. Phosphorus availability in soils amended with organic materials, estimated by three chemical methods and two enzyme activities. **Ver. Bras. Ci. Solo**. Viçosa: SBCS, v 21 p 617-624, 1997

BERTON, R.S. Riscos de Contaminação do Agrossistema com Metais Pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.259 - 268

BETTIOL, W. ; CARVALHO, P. C. T. ; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. *O Solo*, v. 75, n. 1, 1983. p. 44-54

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.259 - 268

BISCAIA, R. C. M. ; MIRANDA, G. M. Uso de lodo de esgoto calado na produção de milho. *Sanare*, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 86-89.

BONNET, B. R. P. **Diagnóstico da situação e prosição preliminar de sistema de monitoragem dos impactos ambientais causados pelo uso agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1995. Monografia (Especialização) – Universidade Federal do Paraná.

BONNET, B.R.P.; LARA, A.I. de.; DOMASZAK, S.C. Indicadores Biológicos de Qualidade Sanitária do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Ed.). **Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**: Curitiba : Sanepar, 1998. p.11-26

BORGE, M. R. e COUTINHO, E. L.M. (2001) Fracionamento de metais pesados após aplicação de lodo de esgoto. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...**(Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 330

BOTTEGA, J. C. ; NASCIMENTO, E. B. Utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas. In: ANDREOLI, C. V. ; LARA, A. I. ; FERNANDES, F. (Orgs.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba : SANEPAR/ FINEP, 1999.

BOTTEGA, J. C. ; NASCIMENTO, E. B. Utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas. In: ANDREOLI, C. V. ; LARA, A. I. ; FERNANDES, F. (Orgs.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba : SANEPAR/ FINEP, 1999.

BOTTEGA, J. C. ; NASCIMENTO, E. B. Utilização do lodo de esgoto em pequenas propriedades agrícolas. In: I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul (1.: 1998: Curitiba - PR) **Anais...**Curitiba:SANEPAR/FINEP, 1998 p. 85 - 92

BRADY, N. C. **The nature and propierts of soils**. 7. ed. [S.l.] : F. Bastos, 1989.

BUNDGAARD, E. ; SAABYE, A. State of the art on sewage sludge: environmental aspects and regulations of common sludge disposal methods. In: INTERNATIONAL EXHIBITION CONGRESS OF SOLID WASTE (1992 : Madrid). **Annals**. Madrid : ISWA, 1992.

BURNHAM, C. J.; DONOVAN, J. F., FORST, J. GSCHWIND, J. LOGAN, T. J. e ZENZ, D. **Production and distribution of municipal sewage sludge products**. In Lue Hing et al. (eds).Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal, p. 479-530

CAESB - COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTO DE BRASÍLIA. **O lodo de esgotos na agricultura**..Brasília, 1996.

CANADÁ. Environmental Protection Service. **Manual for land application of treated municipal wastewater and sludge**. Ontário: EPS, 1984. (EP, 6 –84–1)

CANTARELLA, H. (1993) Calagem e adubação do Milho. In: CANTARELLA e BÜLL (eds).**Cultura do Milho: fatores que afetam a produtividade**. Piraciba: POTAFOS, 1993 p197-236

CANZIANI, J. R. F. et al. Aspectos sócio econômicos. In: _____. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR, 1999.

CARVALHO, P. C. T. ; BARRAL, M. F. Aplicação de lodo de esgoto como fertilizante. **Fertilizantes**, São Paulo, v. 3, n. 2, 1981. p. 3-5

CASTRO, L. A. R. de. **Efeito do lodo de esgoto como recuperador de áreas degradadas com finalidade agrícola**. 2000. 54p. Trabalho de Graduação (Introdução à pesquisa em solos- Depto. de Solo e Engenharia Agrícola) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

CETESB. Disponível em:<<http://www.ambiente.sp.gov.br/residuos/txtbiossol.htm>> Acesso em 13 mai. 2002.

CETESB. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo.2001. 73p.

CHANEY, R. L (1994). Trece metal movement:soil-plantsystem and bioavailability of biosolids-applied metals. In:CLAP, C.E.; LARSON, W.E. E DOWDY, R.H. (EDS) **Sewage Sludge: land utilization and the environment**. Madison, WI, USA: ASA/CSSA/SSSA, 1994 p 27-317

CHANEY, R. L. RYAN, J. A. e BROWN, S. L.(1999a) Environmentally acceptable endpoints for soil metals. In ANDERSON, W.C; LOEHR, R. C. e SMITH, b. P. (eds) **Environmental avaiability in soils: chlorinated organics, explosives, metals**. Annaplois (MD): Am. Acad. Environ. Eng. pp 111-154.

CHANEY, R. L.; BROWN, L. S.; STUCZYNSKI, T. I., DANIELS, L. W., et. Al. (1999b) In-situ Remediation and phytoextraction of metals from hazardous contaminated soils. In: "**Innovative clean - up approaches: investments in technology development, results & Outlook for Future**." Nov 2-4, 19991, Bloomingle, IL

CHANEY, R. L.; GIORDANO, P.M. Microelements as related to plant deficiencis and toxicities. In ELLIOT, L.F.; STEVENSON, F. J. et al. **Soils for management of organic wastes and waste waters**. Madison: SSSA/ASA/ACSA, 1977 p. 235-281

CHANEY, R. L.; GREEN, C. E. et al. (1994). Effect of iron, manganese and zinc enriched biosolids compost on uptake of Cd by lettuce from cadmium-contaminated soils. In:CLAP, C.E.; LARSON, W.E. E DOWDY, R.H. (EDS) **Sewage Sludge: land utilization and the environment**. Madison, WI, USA: ASA/CSSA/SSSA, 1994 p 205-207

CHANEY, R.L.; BRUINS, R.J.F.; et al. (1987) Transfer of sludge-aplied trac elements to food chain. In:PAGE, A.; LOGAN, T. e RYAN, J. (eds). **Land Aplication of Sludge**. Michigan:Lewis Publishers, 1987 pp. 67-99

CHODUR, N.L. **Caracterização de solos na região de Araucária** - Contenda - Pr. Curitiba. 1990 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Paraná.

CLAPP, C. E et al. Sewage suldge organic matter and soil properties. In : CHEN, Y. ; AVNIMELECH, Y. **The role of organic matter in modern agriculture**. Amsterdam: M. Nijhoff, 1986.

CLAPP, C. E.; DOWDY, R. H.; LINDEN, D.R. et al. (1994). Crop yields, nutrient uptake, soil and water quality during 20 years on the Rosemount sewage sludge watershed. In:CLAP, C.E.; LARSON, W.E. E DOWDY, R.H. (EDS) **Sewage Sludge: land utilization and the environment**. Madison, WI, USA: ASA/CSSA/SSSA, 1994 p 205-207

CLAPP, C. E.; DOWDY, R. W.; LINDEN, D. R.; LARSON, W. E.; et al. Crop yields, nutrient uptake, soil and water quality during 20 years on the Rosemount Sewage Sludge Watershed. In:CLAPP, C. E.,

- LARSON, W. E., DOWDY, R. H. (eds). **Sewage sludge: land utilization and the environment**. Minnessota: SSSA, 1994 p. 137-148
- CLAPP, C. E.; STARK, S.A.; CLAY, D.E. e LARSON, W. E.. Sewage suldge organic matter and soil properties. In : CHEN, Y. ; AVNIMELECH, Y. **The role of organic matter in modern agriculture**. Amsterdam : M. Nijhoff, 1986.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997.
- COSTA, A.; COSTA, A F. S.; MARQUE, M. O.; SANTANA, R.C., Estudo de Caso - Utilização de lodo de estações de tratamento de esgoto (ETEs) na cultura do mamoeiro no norte do Estado do Espírito Santo, In: Andreoli, C.V (coord). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, Abes, 2001 p: 189-214
- COSTA, F. G. e MATTIAZZO, M. E. (2001) Disponibilidade para plantas de braquiária (*Brachiaria brizantha*) de nutrientes e metais pesados em solos tratados com lodo biossólidos. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. (**Anais XXVIII Congresso...**, 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 325
- DA ROS, C. O. et al. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. **Rev. Bras. de Ci. Solo**, Campinas, v. 17, p. 257-261, 1993.
- DAVIS, R D, HALL, J E (1997). Production, treatment and disposal of wastewater in europe from UK perspective. In: **European water pollution control**. Volume7, n 2, p 107-115.
- DE FELIPO, B.V. et al. Eficiência Agronômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 15:389-393, 1991.
- DERPSCH, R.; ROTH C. H.; SIDIRA, N. e KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: Dt. Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ), 1990 272 p.
- DESCHAMPS, C e MORAES, R.F. Efeito dos teores de metais pesados nos frutos de macieira (*Malus domestica*) submetida à aplicação de lodo de esgoto como fertilizante orgânico. **Sanare**. Curitiba, v. 11, n. 11 p. 44-50
- DESCHAMPS, C. e FAVARETTO, N. Efeito da aplicação do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e girassol. **Sanare**, Curitiba, v.8, n.8. 1998
- DESCHAMPS, C. e FAVARETTO, N. **Projeto interdisciplinar para o desenvolvimento de critérios sanitários, agronômicos e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto**. Relatório Técnico - Núcleo Ambiental. SANEPAR, Curitiba.
- DEUS, A. B. S. de. **Avaliação sanitária e ambiental de lodos de ETES**. Porto Alegre, 1992. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DOWDY, R.H.; CLAPP, C. E.; LINDEN, D.R. et al. (1944) Twenty years of trace metal partitioning on the Rosemount sewage sludge watershed. In: CLAP, C.E.; LARSON, W.E. E DOWDY, R.H. (EDS) **Sewage Sludge: land utilization and the environment**. Madison, WI, USA: ASA,/CSSA/SSSA, 1994 p 149-155
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999, 412 p.

EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/lodo.html>> Acesso em 11 mai. 2000

EPSTEIN, E ; TAYLOR, J. M. ; CHANEY, R. L. **Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties**. J. environ. Qual, Madison, n. 5, 1976. p. 422-426

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge under**. Washington, DC, 1992. (EPA, n. 40; CFR part 503)

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Federal registrer, standards for the use on disposal of sewage sludge: final rules**. Wsahington, DC, 1993. (EPA, n. 40; CFR part 257)

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual**. 7. ed. Cincinnatti : AOAC, 1992.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Land application of biossolids**. Washington, DC, 1984.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Land application of biossolids: process design manual**. Cincinnatti, 1997.

ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. **Biossolids generation, use, and disposal in The United States**, 1999 (EPA 530-R-99-009)

FAVARETTO, N. ; DESCHAMPS, C. ; MOTTA, A. C. V. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO (26 : Rio de Janeiro). **Anais**. Rio de Janeiro : SBCS, 1997.

FAVARETTO, N. **Efeito de adubações e espécies forrageiras na composição química da planta e palhada na fertilidade do solo em área degradada pela mineração do xisto**. Curitiba, 1996. 105p. Dissertação (Mestrado em agronomia - Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FERNADES, F.; PIERRO, A. C. e YAMAMOTO, R.Y. Produção de fertilizantes orgânicos por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgoto. **Pesq. Agrop. Brasil**, v. 28, p - 567-574. 1993.

FERNANDES, F, LARA, A I, ANDREOLI, C V, PEGORINI, E S, (org.) (1999) **Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto**. In: Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções, Andreoli, C V, Lara, A I, Fernandes, F (coord), p 263-291

FERNANDES, F. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 46-58.

FERNANDES, F. et al. Aperfeiçoamento da tecnologia de compostagem e controle de patógenos. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 36-45

FERNANDES, F. Lodo em estação de tratamento de água e esgoto. **Eng. Sanit. Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, 1997. p. 169

FERREIRA, A. C. ; ANDREOLI, C. V. ; JÜRGENSEN, D. Produção e características dos biossólidos. In: **USO e manejo de lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro : PROSAB, 1999.

FIEST, L. C. ; ANDREOLI, C. V. ; MACHADO, M. A. M. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto nas propriedades físicas do solo. **Sanare**, Curitiba, v. 9, n. 9, 1998. p. 48-57

FIEST, L. C. ; ANDREOLI, C. V. ; MACHADO, M. A. M. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto nas propriedades químicas do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (19.:1998: Foz do Iguaçu). **Anais ...** Foz do Iguaçu, s.d. 1998.

FORSTE, J. B. Gaining public acceptance for biossolids. In: CLAPP, C. E. et al. **Sewage sludge: land utilization and the environment**. [S.l.] : SSSA, 1994. p. 81-85.(Misc. Publication)

GASPARD P. G. ; WIART J. ; SCHWARTZBROD, J. A method for assessing the viability of nematode eggs in sludge. **Environ. Technol.**, London, v. 17, 1996. p. 415-420

GASPARD, P. G.; WIART, J. e SCHWARTZBROD,J. A method for acessing the viability of nematode eggs em sludge. **Environ. Technology**, v. 52, p. 415 - 420, 1996

GOMES, C.S. Experiência da SANEPAR com Ralf=Rafa=Uasb cilíndrico, tronco-cônicos e paralelepíedicos e sugestão de uso do modelo mais adequado para cada caso. **Sanare**. Curitiba: SANEPAR, v.7, n.7, 1997 p85 - 94

GOMES, L.P., COELHO, O. W, COSTA, A.e MARQUES, M. O. Critérios de Seleção de Áreas para Reciclagem Agrícola de Lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). In:ANDREOLI, C. V. (coord), **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RIMA/ABES, 2001, p165-187.

GONÇALVES, R. e SPERLING, M. VON. Produção de lodo nos sistemas de tratamento de esgoto. In. ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. e SPERLING, M. (eds). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG/SANEPAR, 2001 p17 - 68.

GRANATO, T. C. e PIETZ, R. I. Sludge aplicacion to dedicated beneficial sites Aplicacion of municipal sewage sludge to soil reclamation sites. In: LUE-HING, C. AENZ, D.R. e KUCHENRITHER (ed). **Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal**. Water Quality Management Library. 1992 p. 417 - 454

GSHWIND, J. e PIETZ, R. I. Application of municipal sewage sludge to soil reclamation sites. In: LUE-HING, C. AENZ, D.R. e KUCHENRITHER (ed). **Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal**. Water Quality Management Library. 1992 p. 455 - 478

GSHWIND, J.; HARPER, N. P.; KELADA, N. P; LORDI, D. T. e RICHARDSON, S.. Chemical constituents present in municipal sewage sludge. In: LUE-HING, C. AENZ, D.R. e KUCHENRITHER (ed). **Municipal sewage sludge management: processing, utilization and disposal**. Water Quality Management Library. p. 69 - 138

HALL, J. E. Standardising and the Management of Biosolids the International Experience. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, (1.: 1998 : Curitiba). **Anais**. Curitiba : [s.n.], 1998.

HARRY, J. **Projeto piloto para reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. (Relatório) Curitiba: SANEPAR, 1995

HAYS, B. D. Is there a potential for parasitic disease transmission from land application of sewage effluents and sludges? **J. Environ. Health**, v. 39, n. 6, 1977a. p. 424-426.

HAYS, B. D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges. **Water Res.**, Oxon, v. 11, 1977b. p. 583-595

HECKMAN J.R.; ANGLE, J.S.; CHANEY, R.L. (1987)Residual effects of sewage sludge on soybean: I .Accumulation of heavy metals. **Jornal of Environmental quality**, 16:p.113-117

HECKMAN, J. R. ; ANGLE, J. S. ; CHANEY, R. L. Residual effects of sewage sludge on soybean: I. Accumulation of heavy metal. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 16, n. 2, 1987. p. 113–117.

HENNEBERG, L. **Efeito do lodo de esgoto urbano e industrial na distribuição de metais pesados em solos argilosos geoquimicamente diferentes**. Florianópolis. 2000. 100p. Dissertação (Mestrado em Química) UEL UFSC.

HOLMGREN, G.G.S, MEYER, M. W.; CHANEY, R. L.; DANIELS, R. B. Cadmium, Lead, Zinc, Copper and Nickel in Agricultural Soils of USA. In: **J. Environ. Quality**, 22:335-348 (1993)

HORMANN, C. M.; CLAPP, C. E.; DOWDY, R.H. et al. Effect of lime-cake municipal sewage sludge on corn yield, nutrient uptake, and soil analyses. In:CLAP, C.E.; LARSON, W.E. E DOWDY, R.H. (EDS) **Sewage Sludge: land utilization and the environment**. Madison, WI, USA: ASA/CSSA/SSSA, 1994 p. 173-183

HSIAU, P. SHANG-LIEN, L. Characteristics of heavy metals in cement-treated and Cement/sodium silicate - treated sewage sludges. In SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL (10/2001 Acapulco - México). **Anais... IWA**, 2001. p. 70 - 76

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de Indicadores Sociais – Estudos e Pesquisas** (informação demográfica e socioeconômica, n.5). Rio de Janeiro : IBGE, 2000

IAPAR. **Manual de fertilização e correção dos solos**. OLEYNIK, J. CURITIBA: Associação de Critério e Assistência Rural do Paraná, 1980.

ILHENFELD, R. G. K. ; PEGORINI, E. S. ; ANDREOLI, C. V. Fatores limitantes. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro : PROSAB-FINEP, 1999.

JORDÃO, E. P ; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro : ABES, 1995.

JORGE, J. A. ; CAMARGO, O. A. ; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um latossolo vermelho - escuro 4 anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 15, 1991. p. 237-240

KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1992, 315p.

KAMOGAWA, M. Y. ; MIYAZAWA, M. Absorção e toxidez de metais pesados do solo para feijoeiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA (19. : 1996 : POÇOS DE CALDAS) **Anais**. Poços de Caldas : SBQ, 1996.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres. 1985

LAL, R. et al. **Soil management and greenhouse effect**. [S.l.] : Lewis, 1995a.

LARA, A I.; BONNET, B. R.; FERREIRA.A.C. Monitoring of the recycling of sewage sludge for use inagriculture in the state of Paraná. In: Specialized conference on disposal and utilization of sewage

sludge: treatment methods and application Modalities. (10/1999 Atenas - Grécia). **Anais...** IWA, 1999.

LARA, A. I. ; ANDREOLI, C. V. ; BONNET, B. R. P. Impactos ambientais e monitoramento da reciclagem agrícola de lodo de esgoto. **R. Avaliação de Impactos**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, 1.997 . p. 84-95

LEPSCH, I. F. (coord). Manual de Levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D. e ESPINDOLA, C. R. 4ª aproximação, 2ª imp. Ver., Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LETTINGA, G. ; ROERSMA, R. ; GRIN, P. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperature using a granular bed UASB reactor. **Biotechnol. Bioeng.**, New York, p. 1701-17-23, 1983.

LEVINE, M. B. et al. Heavy metal concentrations during ten years of sludge treatment to an old-field community. **J. Environ. Qual.**, Madison, n. 18, 1989. p. 411-418

LICHT, O. A B. e TARVAINEN, T. Multipurpose geochemical maps produced by integration of geochemical exploration data sets in the Paraná Shield, Brazil. **Journal of Geochemical Explorations**. N 56, 1996 p. 167-182

LOURENÇO, R. S. ; ANJOS, A. H. M. ; LIBARDI, P. L. et al. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da Bracatinga. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 90-92, 1995

LUCCHESI, L. A. C. **The effects of two processed sewage sludges on the characteristics of three soils from Paraná, Brazil and the behavior of sludge zinc**. Pittsburg, 1997. Tese (Doutorado)- The Ohio State University.

LUCCHESI, L. A. C., Características dos bio sólidos e efeitos de sua reciclagem em ambientes edáficos com ênfase na dinâmica de elementos traço, In: I SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL. **Anais**. Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998. p 77-83

LUDUVICE, M. Experiência da CAESB na Reciclagem Agrícola de Bio sólidos, In: BETTIOL, W e CAMARGO, O.A. (eds) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**, Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, p.153-162.

LUE-HING, C.; ZENZ, D. R. ; KUCHENRITHER. Municipal sewage sludge management: processing, tilization and disposal. **Water Qual. Manage.**, Philadelphia, v. 4, 1992. p. 663.

MAACK, R. **Geografia estatística do estado do Paraná**. Curitiba : BADEP : IBPT , 1968.

MAISONNAVE, V.; MONTRÉJAUD-VIGNOLES, M.; et al.(2001) Impact on crops, plants and soils of metal trace elements transfer and flux, after spreading of fertilizers and biosolids In: SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL. **Anais** (Acapulco, 25-27 de outubro de 2001) Acapulco: IWA, 2001 p 440-447

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental**: metais pesados, mitos, mistificações e fatos. [S.l.]: PCLQ/USP, 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicação**. Piraciba: POTAFOS. 1989

MARCHIORETTO, M.M.; BRUNING, H.; LOAN, N.T.P.; RULKENS, W.H.. Heavy metal extraction from anaerobically digested sludge. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL. **Anais** (Acapulco, 25-27 de outubro de 2001) Acapulco: IWA, 2001 p.77-84

MARCHIORI JÚNIOR, M.M. Adubação do Solo com Lodo de Esgoto para a Cultura da Cana-de-Açúcar. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, (1.: 1998 : Curitiba). **Anais**. Curitiba : [s.n.], 1998. p.201-205.

MARCIANO, C. **Incorporação de resíduos urbanos e a propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho - amarelo**. Piracicaba, 1999. 93p. TESE (doutorado em agronomia). ESALQ-USP

MARQUES, M. O.; MELLO, W. J. e MARQUES, T. A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: In: TSUTYA, M. T; COMPARINI, J. B.et al. (eds) **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, p. 365-403

MARQUES, M.O. **Incorporação de lodo de esgoto em solo cultivado com cana-de-açúcar**. Jaboticabal. 1997 p. 111p. Tese (livre docência) UNESP.

MARTINEZ, J.C.; HINOJOSA, L.H.; ROMERO, E.S., OLIVARES, F.C. Residual effects of biossólidos in Cauliflower (*Brassica Oleracea* var *Botrytis*) regarding yield, essential and heavy metal concentrations in heads and soil. (10/2001 Acapulco - México). **Anais...** IWA, 2001. p. 403 - 409

MATTIAZO-PREZOTTO, E; ANDRADE, C. A. Aplicabilidade do biossólido em plantações florestais: IV Lixiviação de N e toxicidade de metais pesados. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000 p. 203-208

MATTIAZO-PREZOTTO, E; GLÓRIA, N. A. **Uso de resíduos na agricultura**. Apostila da ESALQ. 2000

MATTOS, M. e MIYAZAWA, M. Deslocamento de metais pesados no solo. In: Reunião anual da sociedade brasileira de química. **Anais...**Caxambú: SBQ. 1995

McCalla, PETERSON e LUE - HING, 1977, Properties of Agricultural and Municipal Wastes. In: **Soils for management of organic wastes and waste waters**.

McGRATH, S. P. ; CHANG, A. C. ; PAGE, A. L. et al. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States. **Environ. Rev.**, v. 2, 1994. p. 108-118.

MELO, V. P.; MELO, W. J.et al. (2001). Crômio, cádmio e níquel em solo tratado com biossólido e cultivado com milho por três anos consecutivos. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...** (Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 337.

MELO, W. J. et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana - de - açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 18, 1994. p. 449-455.

MELO, W.J. de; MARQUES, M.O. Potencial do Lodo de Esgoto como Fonte de Nutrientes para as Plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E. Uso de resíduos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro : SBSC/EMBRAPA, 1997.

MENDES, J. T. G. **Análise econômica da utilização do lodo da ETE**. SANEPAR: 1981 Não publicado.

MIAZAWA, M. GIMENEZ, S. M. N.; FERNANDES, F; OLIVEIRA, E. L.; SILVA, S. M. C. P. Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: ANDREOLI, C. LARA, A. I.; FERNANDES, F. (orgs). **Reciclagem agrícola de lodo de esgoto: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 2001. p. 204 - 224

MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A.. **Atlas geoquímico do Paraná**. Curitiba: Mineropar. 2001. 80p.

MIYAZAWA, M. Estado da Arte: Metais Pesados no solo e na planta. In: **Projeto interdisc. para a definição de critérios sanitários agrônômicos e ambientais para a implantação da reciclagem agrícola do lodo de esgoto**. CURITIBA: SANEPAR (mimeografado).

MIYAZAWA, M. et al. Lixiviação de metais pesados do lodo de esgoto no solo. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 63-67

MORTVEDT, J. J. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. **Fertilizer Res.**, Dordrecht, v. 43, n. 1- 3, 1996. p. 55-61

NASCIMENTO, E. B. do; BOTTEGA, J. C. Utilização do Lodo de Esgoto em Pequenas Propriedades. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, (1.: 1998 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : [s.n.], 1998. p. 85-91.

OLIVEIRA, C.; SOBRINHO, N. M.; MAZUR, N. e BORGES, R. C. Efeitos da aplicação de lodo de esgoto enriquecido com Cd e Zn na cultura do arroz In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...** (Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBSC, 2001. p. 335

OLIVEIRA, C.; SOBRINHO, N. M.; MAZUR, N. e MESQUITA, A.A. Efeitos do tempo na solubilidade de metais pesados de solos tratados com lodo de esgoto enriquecido. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...** (Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBSC, 2001b. p. 318

OLIVEIRA, E. L. ; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Res.**, n. 38, 1996. p. 47-57

OLIVEIRA, F. C. et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo grânifero. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v. 52, n. 2, 1995. p. 360-367

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação do nitrogênio em solos tratados com lodo de esgoto. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SOLOS (12. : 1996: Águas de Lindóia) **Anais...** Águas de Lindóia : [s.n.], 1996.

OUTWATER, A. B. **Reuse of sludge and minor wastewater residuals**. [S.l.] : Lewis, 1994.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. de F.; ZEMPULSKI, H. de C. MIYAZAWA, M e ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo**. Londrina: IAPAR, 1992, 32 p.

PIGOZZO, A. T.J.; GOBBI, M.; LENZI, E.; JORDÃO, V. R. (2001). Avaliação de biossólidos como

fonte de micronutrientes catiônicos no Latossolo Vermelho Escuro. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...**(Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 319

PIGOZZO, A. T.J.; GOBBI, M.; LENZI, E.; JORDÃO, V. R. (2001). Avaliação de bio sólidos como fonte de micronutrientes catiônicos no Latossolo Vermelho Escuro. In XXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. (**Anais XXVIII Congresso...**, 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 319

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. Respostas da soja a aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. V. 28, n.3, p 375-383, 1993.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: CERES/Potafos, 1993

RAIJ, B. van. Uso Agrícola de Bio sólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, (1.: 1998 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : [s.n.], 1998. p.147-151.

ROCHA, T. R. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura**: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Piracicaba, 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo.

ROGALLA, F. Produção, caracterização e processamento de bio sólidos. In: I Seminário sobre gerenciamento de bio sólidos do mercosul. (1. : 1998: Curitiba, Pr) **Anais...** Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998 p.35 - 40

SÁ, J. C. M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993 96 p.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999. 110p.

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1997.

SANTOS FILHO, A. ; ROCHA, H. O. O cobre em solos do estado do Paraná. **R. Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 4, n. 1-2, p. 23-26, 1982.

SANTOS FILHO, A.. Zinco total em alguns solos do Estado do Paraná. **Revista do Setor de Ciências Agrárias** 5: p. 1-3, 1983

SANTOS, H. F. Aplicação do lodo de estações de tratamento de esgotos em solos agrícolas. **Revista DAE**, São Paulo, 1979. p. 31-48.

SANTOS, H. Normatização para o uso agrícola dos bio sólidos no exterior e no Brasil. In: ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. e SPERLING, M. (eds). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG/SANEPAR, 2001 p 425 - 464

SEAB, Aspectos sócio-econômicos da agricultura paranaense, www.pr.gov.br/seab (acessado em 16/05/2000)

SHIMADZU CORPORATION. **Manual de Instruções AA6601F**, 1992

SIDIRAS, N. e PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p. 249-254, 1985

SIKORA, F. J. ; WOLT, J. Effect of cadmium - and zinc - treated sludge on yield and cadmium - zinc uptake of corn. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 15, n. 4, 1986. p. 341-345.

SILVA, J. E., DIMAS, V. S. R., SHARMA, R. D.(2000) Alternativa Agronômica para o Biossólido: a experiência de Brasília. In: BETTIOL, W & CAMARGO, O. A. (coord.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 143-162

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F; SOCCOL, V. e MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. e SPERLING, M. (eds). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG/SANEPAR, 2001 p 69 - 122

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. de C.; PLESE, L.P. de M. Efeito do lodo de esgoto nas propriedades químicas de um solo podzólico vermelho-amarelo. IN: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (19.:1998: Foz do Iguaçu). **Anais ...** Foz do Iguaçu, s.d. 1998

SMITH, S. R. Effects of soil pH on availability to crops of metals in sewage treated soils: Nickel, Cooper and Zinc uptake and toxicity to ryegrass. **Environ. Pollut.**, Essex, v. 85, 1994. p. 321-327

SOBRINHO, M.M.B.A. E VELLOSO, A.C. Poluição do Solo por Metais Pesados. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 24. **Anais...** Cerrados: Fronteira ..., (Goiânia, 25 a 31 de julho de 1993). Goiânia: SBCS, 1993 p.81-82

SOMMERS, L.; Van VOLK, V.; Giordano, P. M. et al. (1987) Effects of soil properties on accumulation of trace elements by crops. In:PAGE, A.; LOGAN, T. e RYAN, J. (eds). **Land application of sludge**. Michigan:Lewis Publishers, 1987. p. 5-24

SOPPER, W. E.. **Municipal sludge use in land reclamation**. New York : Lewis, 1993.

SOUZA, M. L. P. et al. Levantamento preliminar dos teores de metais pesados em alguns solos do Paraná. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, 1996. p. 68-75

SOUZA, M. L. P.; ANDREOLI, C. V.; COMIN, J.J.; PAULETTI, V.; CASTILHO, S. B. e GIOppo, P. J. Sub-projeto desenvolvimento de um sistema técnico administrativo para elaboração de plano de distribuição de lodo (FASE II). (Relatório técnico). Curitiba: SANEPAR/UFPR. 1994

SOUZA, W. J. O; Melo, W. J; MARQUES, M O; TSUTYA, M. T. Efeito da aplicação de lodo de esgoto sobre a produção de matéria seca e rendimento de grãos pela cultura do milho em dois tipos de solo. In: I Seminário sobre gerenciamento de biossólidos do mercosul. (1.: 1998: Curitiba, PR). **Anais...**Curitiba: SANEPAR/ABES, 1998 p313-315

STARK, S. A. Building acceptance for biosolids utilization. **BioCycle**, Emmaus, v. 34, n. 4, p.78-80, 1993.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York : J. Wiley & Sons, 1982.

THOMAZ SOCCOL, V.; PAULINO, R.C. Riscos de Contaminação de Agrossistema com Parasitos pelo Uso do Lodo de Esgoto. In BETTIOL, W. CAMARGO, O. A. (ed.). **Impactos Ambientais do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariuna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.245-258.

THOMAZ-SOCCOL V. ; PAULINO R. C. ; CASTRO E.A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C. V. ; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Orgs.) **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR : FINEP, 1999.

THOMPSON, M e WALSH, J. N. Handbook of inductively Coupled Plasma Spectrometry, 1989

TRANNIN, I., C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. ; NASCIEMTNO, A. C.(2001). Biossólido industrial no desenvolvimento e absorção de minerais em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. **Anais...** (Anais XXVIII Congresso..., 1 a 6 de julho de 2001, Londrina - Paraná). Londrina: SBCS, 2001. p. 326

TSADILAS, C. D. et al. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, New York, v. 26, p. 2603-2619, 1995.

TSUTYA, M. T. (2000) Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W & CAMARGO, O. A. (coord.) **Impacto Ambiental do uso agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p. 69-105

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. **Normas para apresentação de trabalhos**. 3. Ed. Curitiba, 1994. v. 2, 6.

USOECT – Unidade de Serviço de Operação de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba - SANEPAR, **Dados operacionais**, 2001

VALADARES, J. M. A. S. ; CATANI, R. A. Zinco em solos do estado de São Paulo: zinco total. **Bragantia**, Campinas, v. 34, p.134-139, 1974.

VANZO, J. E; MACEDO, L. S.; TSUTYA, M. T. Registro da produção de biossólidos. O caso da ETE Franca. In: TSUTYA, M. T; COMPARINI, J. B.et al. (eds) **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, p. 227-242

VESILIND, P A. ; HARTMAN, G. C. ; SKENE, E. T. **Sludge management and disposal for the practising engineer**. Michigan City : Lewis, 1988.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte : Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

WEBBER, M. D. ; SHAMESS, A. **Land utilization of sewage sludge**: a discussion paper. Toronto: Expert Committee on Soil and Water Management, 1984.

WISNIEWSKI, C. et al. Uso do lodo de esgoto da ETE-Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 76-86, 1996.

YAGUAL , N.; ESCALONA, R. A. Environmental impact assesment (EIA) guidelines for sludge management e disposal in latin american wastewater treatment projects. In: SPECIALIZED CONFERENCE ON SLUDGE MANAGEMENT: REGULATION, TREATMENT, UTILIZATION AND DISPOSAL (10/2001 Acapulco - México). **Anais...** IWA, 2001. p. 30 – 39.

YANKO, W. A. Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges. In: ESTADOS UNIDOS. Environment Protection Agency. **Environmental regulation and technology**: Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Ontario, 1987. (EPA Report, n. 625/R-92/013, 149)

YANKO, W. A.. et al. Enumerating salmonella in biosolids for compliande with pathogen regulations. **Water Environ. Res.**, Alexandria, v. 67, p. 364, 1995.

ZAPPI, K. M. Influência do lodo de esgoto alcalinizado no pH do solo, 1999. 27p. Trabalho de Graduação (Introdução à pesquisa em solos- Depto. de Solo e Engenharia Agrícola) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná

ANEXOS

ANEXO 1 – MODELO DE QUESTIONÁRIO PARA AGRICULTORES

| LEVANTAMENTO DOS RESULTADOS DO USO AGRÍCOLA DE BIOSSÓLIDOS DA ETE-BELEM - PERÍODO 2000-2001 | | | |
|--|--|---|--|
| A. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTOR | | | |
| Nome: _____ | | Telefone: _____ | |
| Município: _____ | | Localidade: _____ | |
| Bacia Hidrográfica: _____ | | Coordenadas UTM: _____ | |
| Formação: | <input type="checkbox"/> sem escolaridade <input type="checkbox"/> 1o. grau incompleto <input type="checkbox"/> 1o. grau completo <input type="checkbox"/> 2o. grau incompleto | <input type="checkbox"/> 2o. grau completo superior <input type="checkbox"/> pós-graduado | |
| Espécies Cultivadas | <input type="checkbox"/> Milho _____ ha <input type="checkbox"/> Soja _____ ha <input type="checkbox"/> Feijão _____ ha <input type="checkbox"/> Batata _____ ha <input type="checkbox"/> Cebola _____ ha <input type="checkbox"/> Reflorestamento _____ ha <input type="checkbox"/> Pecuária _____ ha | <input type="checkbox"/> Hortaliças _____ ha. <input type="checkbox"/> quais culturas ? _____ <input type="checkbox"/> Agricultura orgânica _____ ha. <input type="checkbox"/> Fruticultura _____ ha. <input type="checkbox"/> quais? _____ | |
| B. IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE | | | |
| Área total (ha): _____ | Espécie cultivada com lodo: _____ | | |
| Sistema de uso da propriedade: | Área cultivada com lodo (ha): _____ | | |
| <input type="checkbox"/> proprietário <input type="checkbox"/> arrendatário <input type="checkbox"/> meeiro <input type="checkbox"/> chacreiro <input type="checkbox"/> outro ? _____ | Área total cultivada (ha): _____ | | |
| C. NÍVEL TECNOLÓGICO | | | |
| <input type="checkbox"/> Plantio direto <input type="checkbox"/> Rotação de Culturas <input type="checkbox"/> Plantio em nível <input type="checkbox"/> Irrigação <input type="checkbox"/> Adubação verde <input type="checkbox"/> Micronutrientes <input type="checkbox"/> Adubo Orgânico | <input type="checkbox"/> Adubo químico <input type="checkbox"/> Análise de Solo <input type="checkbox"/> Calagem <input type="checkbox"/> Trator _____ número <input type="checkbox"/> Implemento p/ distribuir M.O. | | |
| D. USO DE ADUBOS ORGÂNICOS | | | |
| <input type="checkbox"/> Utiliza com freqüência | | <input type="checkbox"/> Não Utiliza | |
| <input type="checkbox"/> Utiliza com rara freqüência | | | |

| | |
|--|--|
| E. CARACTERÍSTICAS DO USO DO LODO: | |
| 1. Como foi informado da distribuição de lodo? | |
| <input type="checkbox"/> EMATER | <input type="checkbox"/> Agrônomo da ENVITEC |
| <input type="checkbox"/> Vizinho | <input type="checkbox"/> Televisão |
| <input type="checkbox"/> Folder | Outro, qual ? _____ |
| 2. Época, taxa e forma de aplicação | |
| Época de aplicação: _____ | A época de aplicado em relação a época ideal de plantio foi: |
| | <input type="checkbox"/> adequada |
| Dose (t/ha): _____ | <input type="checkbox"/> atrasada |
| Como o biossólido foi aplicado? | |
| <input type="checkbox"/> espalhador da EMATER | <input type="checkbox"/> trator e lâmina |
| <input type="checkbox"/> espalhamento manual | <input type="checkbox"/> outro? _____ |
| Fez uso de Equipamento de proteção quando da aplicação/incorporação | |
| <input type="checkbox"/> sim, qual? _____ | <input type="checkbox"/> Não |
| 3. Assistência Técnica | |
| A propriedade foi avaliada pelo agrônomo antes da aplicação de lodo? | |
| <input type="checkbox"/> sim | <input type="checkbox"/> não |
| Houve recomendação de complementação do uso do lodo com adubo mineral? | |
| <input type="checkbox"/> sim | <input type="checkbox"/> não |
| O agrônomo visitou a propriedade durante a safra? | |
| <input type="checkbox"/> sim, quantas vezes ? _____ | <input type="checkbox"/> não |
| Em que época ocorreram as visitas | |
| <input type="checkbox"/> plantio | <input type="checkbox"/> desenvolvimento |
| <input type="checkbox"/> colheita | <input type="checkbox"/> antes do plantio |
| O senhor recebeu orientação sobre: | |
| <input type="checkbox"/> características do lodo | |
| <input type="checkbox"/> cuidados com a saúde (higiene, uso de equipamento para aplicação) | |
| <input type="checkbox"/> forma de aplicação e | |
| <input type="checkbox"/> incorporação | |
| Foi coletada amostra de solo após a aplicação | |
| <input type="checkbox"/> sim | <input type="checkbox"/> não |
| 4. Estocagem | |
| Qual o período de estocagem antes da aplicação: | Como o lodo foi estocado: |
| <input type="checkbox"/> menos de 7 dias | <input type="checkbox"/> local plano até 5 % de declividade |
| <input type="checkbox"/> 7 a 15 dias | <input type="checkbox"/> próximo a corpo hídrico |
| <input type="checkbox"/> 15 a 30 dias | <input type="checkbox"/> aplicado cal em superfície |
| <input type="checkbox"/> mais de trinta dias | <input type="checkbox"/> coberto com lona |
| Qual o motivo da Estocagem? | |
| <input type="checkbox"/> época de plantio/preparo do solo | |
| <input type="checkbox"/> dificuldade de equipamentos para espalhamento | |
| <input type="checkbox"/> condições climáticas | |
| <input type="checkbox"/> outras tarefas | |
| <input type="checkbox"/> outro motivo? _____ | |

5. Características do lodo

Comparado com outros tipos de esterco o odor do lodo é:

- ☐ mais repulsivo
☐ igual
☐ menos repulsivo

Enquanto esteve estocado o lodo apresentou problema de atração de moscas

- ☐ sim, por quanto tempo? _____
☐ não

6. Relação com vizinhos

A relação com os vizinhos foi:

- ☐ favorável
☐ desfavorável
☐ neutra

Eles manifestaram interesse em usar biossólidos nas suas áreas?

- ☐ sim
☐ não

Seus vizinhos tiveram curiosidade em conhecer o biossólido?

- ☐ sim ☐ não

Eles vieram a propriedade

- ☐ sim, quantos? _____ ☐ não

7. Opinião quanto ao uso

Você encontrou algum problema no uso do lodo?

- ☐ sim ☐ não

Em caso positivo, que tipo de problema?

- ☐ medo de contaminação com doenças
☐ medo de contaminação com metais pesados
☐ dificuldade de manuseio/espalhamento (teor de umidade)
☐ época de distribuição
☐ odor
☐ problema com vizinho

Você observou vantagem na utilização do biossólido?

- ☐ maior produtividade, em quanto o sr. estima: _____ kg / ha a mais
☐ menor gasto com adubo, quanto: _____ kg / ha a menos
☐ plantas mais vigorosas e saudáveis
☐ solo mais úmido
☐ maior resistência a seca
☐ outro qual? _____

Você aplicaria biossólido novamente em sua propriedade?

- ☐ sim ☐ não, por quê? _____

Em função dos resultados obtidos, você concordaria em arcar com algum custo para ter o biossólido em sua propriedade?

- ☐ sim, quanto? _____ ☐ não

Na sua opinião o que pode ser melhorado para facilitar o uso do biossólido e mais agricultores se interessarem?

ANEXO 2 –CRITÉRIOS PARA CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA DISPOSIÇÃO AGRÍCOLA DO LODO.

CRITÉRIOS PARA ENQUADRAMENTO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA USO AGRÍCOLA DE LODO.

| FATOR | GRAU | CRITÉRIO |
|--------------------------|---------------|---|
| Profundidade | 0-nulo | latossolos, cambissolos ou podzólicos profundos. |
| | 2-moderado | cambissolos ou podzólicos com citação de pouca profundidade |
| | 3-forte | litólicos ou outras unidades com citação de solos rasos. |
| Textura superficial | 0-nulo | textura argilosa (35 a 60% de argila). |
| | 1-ligeiro | textura muito argilosa(> de 60% de argila) |
| | 2-moderado | textura média (15-35% de argila). |
| | 3-forte | textura siltosa (<35% de argila e <15% de areia). textura arenosa (<15% de argila). |
| Suscetibilidade a erosão | 0-nulo | solos em relevos plano. |
| | 1-ligeiro | solos argilosos ou muito argilosos em relevo suave ondulado |
| | 2-moderado | solos textura média ou siltosa em relevo suave ondulado e solos com textura argilosa e muito argilosa em relevo ondulado. |
| | 3-forte | solos de relevo ondulado com textura arenosa e/ou caráter abrupto. ou relevo forte ondulado associado à textura muito argilosa. |
| | 4-muito forte | relevo forte ondulado, com textura média e arenosa. relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural. |
| Drenagem | 0 nulo | solos acentuadamente e bem drenados |
| | 1-ligeiro | fortemente drenados |
| | 2-moderado | solos moderadamente |
| | 3-forte | solo imperfeitamente e excessivamente drenado |
| | 4-muito forte | solos mal e muito mal drenados |
| Relevo | 0-nulo | relevo plano (0-3%) |
| | 1-ligeiro | relevo suave ondulado (3-8%). |
| | 2-moderado | relevo ondulado (8-20%). |
| | 3-forte | forte: relevo forte ondulado (20-45%). |
| | 4-muito forte | relevo montanhoso ou escarpado (maior que 45%). |
| Pedregosidade | 0-nulo | solos sem fase pedregosa. |
| | 2-moderado | citação de pedregosidade na legenda |
| | 4-forte | solos com fase pedregosa |
| Hidromorfismo | 0-nulo | solos sem indicação de hidromorfismo |
| | 2-moderado | solos com caráter gleico |
| | 3-forte | solos hidromórficos |
| Fertilidade | 0-nulo | solos distróficos e álicos com horizonte A moderado ou fraco |
| | 1-ligeiro | solos com horizonte A proeminente |
| | 2-moderado | solos com horizonte A chernozêmico ou antrópico |
| | 3-forte | solos com horizonte A húmico. |
| | 4-muito forte | solos com horizonte turfoso ou material orgânico |

FONTE: SOUZA et al. (1996); FERNANDES et. al. (1999)

CLASSIFICAÇÃO DA APTIDÃO DOS SOLOS PARA RECICLAGEM AGRÍCOLA DE LODO.

| FATORES DE LIMITAÇÃO | GRAUS DE LIMITAÇÃO | CLASSE DE APTIDÃO | | | | |
|--------------------------|--------------------|-------------------|----|-----|----|---|
| | | I | II | III | IV | V |
| PROFUNDIDADE | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | | X |
| TEXTURA SUPERFICIAL | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 1-LIGEIRO | | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | X | X |
| SUSCETIBILIDADE A EROSÃO | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 1-LIGEIRO | | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | X | X |
| | 4-MUITO FORTE | | | | | X |
| DRENAGEM | 0 NULO | X | X | X | X | X |
| | 1-LIGEIRO | | X | X | X | X |
| | 2- MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | | X |
| | 4-MUITO FORTE | | | | | X |
| RELEVO | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 1-LIGEIRO | X | X | X | X | X |
| | 2-MODERADA | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | X | X |
| | 4-MUITO FORTE | | | | X | X |
| PEDREGOSIDADE | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | | X | X |
| | 4-FORTE | | | | | X |
| HIDROMORFISMO | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | | X |
| FERTILIDADE | 0-NULO | X | X | X | X | X |
| | 1-LIGEIRO | | X | X | X | X |
| | 2-MODERADO | | | X | X | X |
| | 3-FORTE | | | | X | X |
| | 4-MUITO FORTE | | | | | X |

SOUZA et al. (1996); FERNANDES et. al. (1999)

**ANEXO 3 –RELAÇÃO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS FERTILIZADAS COM LODO DE ESGOTO CALEADO DA
ETE BELÉM ENTRE SETEMBRO DE 2000 E MARÇO DE 2002**

| Ano | Mês | Nº | Município | Lote | Área (ha) | Quant. de Lodo enviada (t úmida) | Taxa de aplicação (túmidas/ha) | umidade | M.S. | t M.S./ha | % N | N aplic. (kg/há) | Cultura | N total (kg) | Quant. Total de Lodo (MS) |
|------|-----|----|--------------------|------|--------------|--|--------------------------------------|---------|-------|-----------|------|---------------------|--------------|-----------------|------------------------------|
| 2000 | 1 | 1 | Lapa | 3 | 9,50 | 251,00 | 26,42 | 82,43 | 17,57 | 4,64 | 1,92 | 89,13 | Azevém | 846,73 | 44,10 |
| 2000 | 1 | 2 | Fazenda Rio Grande | 3 | 35,00 | 934,80 | 26,71 | 82,43 | 17,57 | 4,69 | 1,92 | 90,10 | Pastagem | 3153,49 | 164,24 |
| 2000 | 2 | 3 | Mandirituba | 4 | 1,00 | 20,00 | 20,00 | 82,37 | 17,63 | 3,53 | 1,57 | 55,36 | Fruticultura | 55,36 | 3,53 |
| 2000 | 2 | 4 | Mandirituba | 4 | 2,10 | 55,00 | 26,19 | 82,37 | 17,63 | 4,62 | 1,57 | 72,49 | Milho | 152,24 | 9,70 |
| 2000 | 2 | 5 | Campo Largo | 4 | 0,25 | 10,00 | 40,00 | 82,37 | 17,63 | 7,05 | 1,57 | 110,72 | Erva-mate | 27,68 | 1,76 |
| 2000 | 2 | 6 | Contenda | 4 | 15,00 | 734,00 | 48,93 | 82,37 | 17,63 | 8,63 | 1,57 | 135,44 | Pastagem | 2031,65 | 129,40 |
| 2000 | 2 | 7 | S. J. dos Pinhais | 5 | 6,00 | 152,50 | 25,42 | 78,91 | 21,09 | 5,36 | 2,53 | 135,62 | Azevém | 813,70 | 32,16 |
| 2000 | 3 | 8 | Fazenda Rio Grande | 5 | 1,50 | 25,00 | 16,67 | 78,91 | 21,09 | 3,52 | 2,53 | 88,93 | Fruticultura | 133,39 | 5,27 |
| 2000 | 3 | 7 | S. J. dos Pinhais | 5 | 6,00 | 152,50 | 25,42 | 78,91 | 21,09 | 5,36 | 2,53 | 135,62 | Azevém | 813,70 | 32,16 |
| 2000 | 3 | 9 | Mandirituba | 5 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 78,91 | 21,09 | 6,33 | 2,53 | 160,07 | Milho | 160,07 | 6,33 |
| 2000 | 3 | 2 | Fazenda Rio Grande | 5 | 35,00 | 1390,00 | 39,71 | 78,91 | 21,09 | 8,38 | 2,53 | 211,91 | Milho | 7416,72 | 293,15 |
| 2000 | 4 | 2 | Fazenda Rio Grande | 5 | 57,00 | 1554,00 | 27,26 | 78,91 | 21,09 | 5,75 | 2,53 | 145,47 | Pastagem | 8291,79 | 327,74 |
| 2000 | 7 | 10 | Fazenda Rio Grande | 1 | 2,00 | 60,00 | 30,00 | 82,73 | 17,27 | 5,18 | 2,01 | 104,14 | Gramma | 208,28 | 10,36 |
| 2000 | 7 | 11 | Fazenda Rio Grande | 1 | 10,00 | 370,00 | 37,00 | 82,73 | 17,27 | 6,39 | 2,01 | 128,44 | Milho | 1284,37 | 63,90 |
| 2000 | 7 | 12 | Mandirituba | 1 | 2,50 | 120,00 | 48,00 | 82,73 | 17,27 | 8,29 | 2,01 | 166,62 | Fruticultura | 416,55 | 20,72 |
| 2000 | 10 | 5 | Campo Largo | 1 | 5,00 | 60,00 | 12,00 | 82,73 | 17,27 | 2,07 | 2,01 | 41,66 | Erva-Mate | 208,28 | 10,36 |
| 2000 | 10 | 10 | Fazenda Rio Grande | 1 | 6,00 | 180,00 | 30,00 | 82,73 | 17,27 | 5,18 | 2,01 | 104,14 | Gramma | 624,83 | 31,09 |
| 2000 | 10 | 4 | Mandirituba | 1 | 2,50 | 80,00 | 32,00 | 82,73 | 17,27 | 5,53 | 2,01 | 111,08 | Milho | 277,70 | 13,82 |
| 2000 | 11 | 13 | Campo Largo | 2 | 1,00 | 14,00 | 14,00 | 82,12 | 17,88 | 2,50 | 2,08 | 52,07 | Milho | 52,07 | 2,50 |
| 2000 | 11 | 14 | Colombo | 2 | 6,00 | 100,00 | 16,67 | 82,12 | 17,88 | 2,98 | 2,08 | 61,98 | Fruticultura | 371,90 | 17,88 |
| 2000 | 11 | 15 | Mandirituba | 2 | 6,00 | 200,00 | 33,33 | 82,12 | 17,88 | 5,96 | 2,08 | 123,97 | Milho | 743,81 | 35,76 |
| 2000 | 11 | 16 | Araucária | 2 | 3,50 | 140,00 | 40,00 | 82,12 | 17,88 | 7,15 | 2,08 | 148,76 | Milho | 520,67 | 25,03 |
| 2000 | 11 | 9 | Mandirituba | 2 | 1,00 | 40,00 | 40,00 | 82,12 | 17,88 | 7,15 | 2,08 | 148,76 | Milho | 148,76 | 7,15 |
| 2000 | 12 | 1 | Lapa | 2 | 3,00 | 80,00 | 26,67 | 82,12 | 17,88 | 4,77 | 2,08 | 99,17 | Azevém | 297,52 | 14,30 |
| 2000 | 12 | 7 | S. J. dos Pinhais | 2 | 5,00 | 150,00 | 30,00 | 82,12 | 17,88 | 5,36 | 2,08 | 111,57 | Milho | 557,86 | 26,82 |
| 2000 | 12 | 17 | Araucária | 2 | 3,50 | 160,00 | 45,71 | 82,12 | 17,88 | 8,17 | 2,08 | 170,01 | Milho | 595,05 | 28,61 |

| Ano | Mês | Nº | Município | Lote | Área (ha) | Quant. de Lodo enviada (t úmida) | Taxa de aplicação (túmidas/ha) | umidade | M.S. | t M.S./ha | % N | N aplic. (kg/há) | Cultura | N total (kg) | Quant. Total de Lodo (MS) |
|------|-----|----|--------------------|------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|---------|-------|-----------|------|------------------|--------------|--------------|---------------------------|
| 2000 | 12 | 18 | Lapa | 2 | 5,00 | 250,00 | 50,00 | 82,12 | 17,88 | 8,94 | 2,08 | 185,95 | Fruticultura | 929,76 | 44,70 |
| 2001 | 1 | 10 | Fazenda Rio Grande | 3 | 4,50 | 113,85 | 25,30 | 82,43 | 17,57 | 4,45 | 1,92 | 85,35 | Gramma | 384,07 | 20,00 |
| 2001 | 2 | 10 | Fazenda Rio Grande | 4 | 4,50 | 113,85 | 25,30 | 82,37 | 17,63 | 4,46 | 1,57 | 70,03 | Gramma | 315,13 | 20,07 |
| 2001 | 5 | 2 | Fazenda Rio Grande | 6 | 20,00 | 480,00 | 24,00 | 81,39 | 18,61 | 4,47 | 4,51 | 201,43 | Pastagem | 4028,69 | 89,33 |
| 2001 | 5 | 19 | Contenda | 6 | 6,00 | 180,00 | 30,00 | 81,39 | 18,61 | 5,58 | 4,51 | 251,79 | Milho | 1510,76 | 33,50 |
| 2001 | 5 | 20 | Araucária | 6 | 8,00 | 285,00 | 35,63 | 81,39 | 18,61 | 6,63 | 4,51 | 299,00 | milho | 2392,04 | 53,04 |
| 2001 | 5 | 21 | Balsa Nova | 6 | 15,00 | 545,00 | 36,33 | 81,39 | 18,61 | 6,76 | 4,51 | 304,95 | Milho | 4574,24 | 101,42 |
| 2001 | 6 | 22 | Campo Largo | 6 | 7,50 | 240,00 | 32,00 | 82,12 | 17,88 | 5,72 | 4,51 | 258,04 | Milho | 1935,33 | 42,91 |
| 2001 | 6 | 23 | Mandirituba | 7 | 6,00 | 160,00 | 26,67 | 77,60 | 22,40 | 5,97 | 2,45 | 146,35 | Fruticultura | 878,08 | 35,84 |
| 2001 | 6 | 24 | Mandirituba | 7 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 77,60 | 22,40 | 6,72 | 2,45 | 164,64 | Feijão | 164,64 | 6,72 |
| 2001 | 6 | 24 | Mandirituba | 7 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 77,60 | 22,40 | 6,72 | 2,45 | 164,64 | Milho | 164,64 | 6,72 |
| 2001 | 6 | 21 | Balsa Nova | 7 | 2,00 | 65,00 | 32,50 | 77,60 | 22,40 | 7,28 | 2,45 | 178,36 | Milho | 356,72 | 14,56 |
| 2001 | 6 | 4 | Mandirituba | 7 | 8,00 | 262,50 | 32,81 | 77,60 | 22,40 | 7,35 | 2,45 | 180,08 | Feijão | 1440,60 | 58,80 |
| 2001 | 6 | 4 | Mandirituba | 7 | 8,00 | 262,50 | 32,81 | 77,60 | 22,40 | 7,35 | 2,45 | 180,08 | Milho | 1440,60 | 58,80 |
| 2001 | 6 | 5 | Campo Largo | 7 | 1,20 | 45,00 | 37,50 | 77,60 | 22,40 | 8,40 | 2,45 | 205,80 | Erva-mate | 246,96 | 10,08 |
| 2001 | 6 | 7 | S. J. dos Pinhais | 7 | 5,00 | 190,00 | 38,00 | 77,60 | 22,40 | 8,51 | 2,45 | 208,54 | Milho | 1042,72 | 42,56 |
| 2001 | 7 | 22 | Campo Largo | 8 | 14,00 | 420,00 | 30,00 | 83,50 | 16,50 | 4,95 | 2,43 | 120,29 | Milho | 1683,99 | 69,30 |
| 2001 | 7 | 20 | Araucária | 8 | 4,00 | 150,00 | 37,50 | 83,50 | 16,50 | 6,19 | 2,43 | 150,36 | Milho | 601,43 | 24,75 |
| 2001 | 7 | 6 | Contenda | 8 | 15,00 | 570,00 | 38,00 | 83,50 | 16,50 | 6,27 | 2,43 | 152,36 | Milho | 2285,42 | 94,05 |
| 2001 | 7 | 25 | Campo Largo | 8 | 10,00 | 380,00 | 38,00 | 83,50 | 16,50 | 6,27 | 2,43 | 152,36 | Milho | 1523,61 | 62,70 |
| 2001 | 8 | 9 | Mandirituba | 9 | 0,50 | 15,00 | 30,00 | 81,30 | 18,70 | 5,61 | 4,25 | 238,43 | Milho | 119,21 | 2,81 |
| 2001 | 8 | 25 | Campo Largo | 9 | 12,00 | 450,00 | 37,50 | 81,30 | 18,70 | 7,01 | 4,25 | 298,03 | Milho | 3576,38 | 84,15 |
| 2001 | 8 | 6 | Contenda | 9 | 20,00 | 760,00 | 38,00 | 81,30 | 18,70 | 7,11 | 4,25 | 302,01 | Milho | 6040,10 | 142,12 |
| 2001 | 8 | 2 | Fazenda Rio Grande | 9 | 9,00 | 375,00 | 41,67 | 81,30 | 18,70 | 7,79 | 4,25 | 331,15 | Milho | 2980,31 | 70,13 |
| 2001 | 9 | 2 | Fazenda Rio Grande | 10 | 13,00 | 765,00 | 58,85 | 84,89 | 15,11 | 8,89 | 2,93 | 260,53 | Milho | 3386,83 | 115,59 |
| 2001 | 11 | 26 | Balsa Nova | 12 | 3,30 | 180,00 | 54,55 | 82,46 | 17,54 | 9,57 | 2,82 | 269,80 | Milho | 890,33 | 31,57 |
| 2001 | 11 | 27 | Campo Largo | 12 | 4,30 | 300,00 | 69,77 | 82,46 | 17,54 | 12,24 | 2,82 | 345,09 | Milho | 1483,88 | 52,62 |
| 2001 | 11 | 28 | Araucária | 12 | 5,40 | 315,00 | 58,33 | 82,46 | 17,54 | 10,23 | 2,82 | 288,53 | Milho | 1558,08 | 55,25 |
| 2001 | 12 | 3 | Mandirituba | 13 | 1,00 | 30,00 | 30,00 | 82,07 | 17,93 | 5,38 | 1,80 | 96,82 | Fruticultura | 96,82 | 5,38 |
| 2001 | 12 | 29 | Mandirituba | 13 | 2,00 | 90,00 | 45,00 | 82,07 | 17,93 | 8,07 | 1,80 | 145,23 | Milho | 290,47 | 16,14 |
| 2001 | 12 | 27 | Campo Largo | 13 | 8,10 | 570,00 | 70,37 | 82,07 | 17,93 | 12,62 | 1,80 | 227,11 | Milho | 1839,62 | 102,20 |

| Ano | Mês | Nº | Município | Lote | Área (ha) | Quant. de Lodo enviada (t úmida) | Taxa de aplicação (túmidas/ha) | umidade | M.S. | t M.S./ha | % N | N aplic. (kg/há) | Cultura | N total (kg) | Quant. Total de Lodo (MS) |
|------|-----|----|--------------------|------|-----------|----------------------------------|--------------------------------|---------|-------|-----------|------|------------------|-----------|--------------|---------------------------|
| 2001 | 12 | 2 | Fazenda Rio Grande | 13 | 7,00 | 825,00 | 117,86 | 82,07 | 17,93 | 21,13 | 1,80 | 380,37 | Milho | 2662,61 | 147,92 |
| 2002 | 1 | 5 | Campo Largo | 14 | 1,50 | 60,00 | 40,00 | 79,40 | 20,60 | 8,24 | 2,74 | 225,78 | Erva-mate | 338,66 | 12,36 |
| 2002 | 1 | 21 | Balsa Nova | 14 | 6,00 | 260,00 | 43,33 | 79,40 | 20,60 | 8,93 | 2,74 | 244,59 | Feijão | 1467,54 | 53,56 |
| 2002 | 3 | 4 | Mandirituba | 14 | 1,50 | 75,00 | 50,00 | 79,40 | 20,60 | 10,30 | 2,74 | 282,22 | Milho | 423,33 | 15,45 |

**ANEXO 4 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS DAS PROPRIEDADES ADUBADAS COM LODO DE ESGOTO
NA RMC ENTRE SETEMBRO DE 2001 E MARÇO DE 2002**

| No. | pH | H ⁺ | Al ⁺ | H+Al | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Ca+Mg | K ⁺ | P | C | CTC | V% | m % | V2 ⁺ | Classe de aptidão | Fatores limitantes | Localidade |
|-----|------|-----------------------|-----------------|------|------------------|------------------|-------|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| | | cmolc/dm ³ | | | | | | | (mg/dm ³) | (g/dm ³) | (cmolc/dm ³) | | | | | | |
| 16 | 5,36 | 3,09 | 0,21 | 3,30 | 3,57 | 1,74 | 5,31 | 0,07 | 11,10 | 16,17 | 8,68 | 61,38 | 3,76 | 70 | 3 | Er | Onças |
| 15 | 4,77 | 2,90 | 0,20 | 3,10 | 3,00 | 1,10 | 4,10 | 0,38 | 24,80 | 2,40 | 7,58 | 59,10 | 4,27 | 70 | 3 | Er Re | Campestre |
| 20 | 4,2 | 7,22 | 1,58 | 8,80 | 1,53 | 1,95 | 3,48 | 0,10 | 8,80 | 20,16 | 12,38 | 28,92 | 12,76 | 80 | 0 | | Rio Verde |
| 27 | 4,2 | 7,46 | 0,90 | 8,36 | 2,88 | 0,91 | 3,79 | 0,39 | 21,20 | 24,26 | 12,54 | 33,33 | 7,18 | 75 | 3 | Re Er | Colônia Balbino |
| 5 | 4,4 | 6,28 | 2,20 | 8,40 | 1,60 | 1,00 | 3,40 | 0,25 | 2,00 | 12,50 | 12,05 | 30,29 | 18,26 | 70 | 3 | Re | Bateias |
| 5 | 4,4 | 6,20 | 2,20 | 8,40 | 1,60 | 1,80 | 3,40 | 0,25 | 2,00 | 12,50 | 12,05 | 30,29 | 18,26 | 70 | 3 | Re | Bateias |
| 5 | 4,4 | 6,20 | 2,20 | 8,40 | 1,60 | 1,80 | 3,40 | 0,19 | 2,00 | 12,90 | 11,99 | 29,94 | 18,35 | 75 | 3 | RE | Bateias |
| 5 | 4,4 | 6,20 | 2,20 | 8,40 | 1,60 | 1,80 | 3,40 | 0,30 | 2,00 | 12,90 | 12,10 | 30,50 | 48,4 | 70 | 3 | Re | Bateias |
| 28 | 4,4 | 5,00 | 0,80 | 5,80 | 0,60 | 0,40 | 1,00 | 0,05 | 5,00 | 16,00 | 6,85 | 15,33 | 11,68 | 75 | 2 | Hi | Guajuvira |
| 18 | 4,16 | 9,11 | 1,79 | 10,9 | 1,64 | 0,68 | 2,22 | 0,08 | 4,10 | 19,95 | 4,09 | 17,42 | 43,77 | 70 | 2 | Pr Er Re Tx | Vila Príncipe |
| 18 | 4,3 | 11,81 | 1,69 | 13,5 | 3,67 | 0,87 | 4,54 | 0,18 | 1,60 | 21,85 | 6,41 | 25,91 | 26,37 | 70 | 3 | Re | Vila Príncipe |
| 18 | 4,36 | 11,5 | 2,00 | 13,5 | 2,90 | 2,41 | 5,31 | 0,31 | 3,50 | 44,38 | 7,62 | 29,39 | 26,25 | 70 | 2 | Pr Er Re Tx | Vila Príncipe |
| 13 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 8,41 | 0,38 | 43,90 | 3,95 | 16,79 | 52,35 | 2,87 | 70 | 3 | Re Er | Balsa Nova |
| 8 | 4,88 | 6,00 | 0,31 | 6,40 | 6,73 | 3,03 | 12,76 | 0,47 | 1,15 | 21,22 | 16,63 | 67,4 | 1,58 | 80 | 2 | Re Er | Parque Verde |
| 2 | 3,80 | 13,75 | 3,85 | 17,6 | 0,53 | 0,39 | 0,92 | 0,10 | 2,98 | 46,91 | 18,62 | 5,48 | 20,68 | 75 | 3 | Re Er | Passo Amarelo |
| 2 | 3,80 | 13,75 | 3,85 | 17,6 | 0,53 | 0,39 | 0,92 | 0,10 | 2,98 | 46,91 | 18,62 | 5,48 | 20,68 | 75 | 3 | Re Er | Passo Amarelo |
| 2 | 5,40 | 2,90 | 0,11 | 3,10 | 5,61 | 2,69 | 8,30 | 0,15 | 25,40 | 14,70 | 11,55 | 60,00 | 0,95 | 80 | 3 | Fe | Passo Amarelo |
| 2 | 4,72 | 6,78 | 0,42 | 7,20 | 4,85 | 2,37 | 7,22 | 0,26 | 22,10 | 26,60 | 14,68 | 50,95 | 2,86 | 80 | 2 | Fe Re | Passo Amarelo |
| 2 | 4,72 | 6,78 | 0,42 | 7,20 | 4,85 | 2,37 | 7,22 | 0,26 | 22,10 | 25,60 | 14,68 | 50,95 | 2,86 | 80 | 2 | Fe Re | Passo Amarelo |

| No. | pH | H ⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Ca+Mg | K ⁺ | P | C | CTC | V% | m % | V2 ⁺ | Classe de aptidão | Fatores limitantes | Localidade |
|-----|------|-----------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| | | cmolc/dm ³ | | | | | | | (mg/dm ³) | (g/dm ³) | (cmolc/dm ³) | | | | | | |
| 2 | 4,72 | 6,38 | 0,42 | 6,80 | 5,50 | 2,20 | 7,76 | 0,29 | 8,70 | 31,40 | 14,85 | 54,21 | 2,83 | 80 | 2 | Er Fe | Passo Amarelo |
| 2 | 4,76 | 6,38 | 0,42 | 6,80 | 5,50 | 2,26 | 7,76 | 0,29 | 8,70 | 31,40 | 14,35 | 54,21 | 2,83 | 80 | 2 | Er Fe | Passo Amarelo |
| 2 | 4,41 | 8,00 | 0,84 | 9,80 | 4,74 | 2,10 | 6,90 | 0,47 | 13,4 | 31,60 | 17,17 | 42,92 | 4,89 | 80 | 2 | Er Fe | Passo Amarelo |
| 24 | 4,00 | 11,35 | 2,73 | 14,08 | 0,92 | 0,46 | 1,38 | 0,08 | 1,13 | 28,83 | 15,54 | 9,40 | 17,57 | 70 | 3 | Re Er | Campestre |
| 22 | 5,65 | 3,68 | 0,00 | 3,68 | 3,45 | 2,35 | 5,80 | 0,10 | 6,50 | 12,55 | 9,48 | 62,11 | 0,00 | 80 | 3 | Fe Re | Colônia Balbino |
| 10 | 4,73 | 10,80 | 0,32 | 10,40 | 5,70 | 3,00 | 8,70 | 0,16 | 21,90 | 37,90 | 19,26 | 46,00 | 3,48 | 80 | 3 | Re | latoss |
| 10 | 4,73 | 10,80 | 0,32 | 10,40 | 5,70 | 3,00 | 8,70 | 0,16 | 21,90 | 37,90 | 19,26 | 46,00 | 3,48 | 80 | 3 | Re | latoss |
| 10 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 8,41 | 0,38 | 43,90 | 39,50 | 16,79 | 52,35 | 2,87 | 80 | 3 | Re | latoss |
| 10 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 8,41 | 0,38 | 43,9 | 39,50 | 16,79 | 52,35 | 2,87 | 80 | 3 | Re | latoss |
| 12 | 5,4 | 3,50 | 0,20 | 0,00 | 2,50 | 1,90 | 4,40 | 0,12 | 5,10 | 2,00 | 8,70 | 52,60 | 0,00 | 70 | 3 | Re | Santo Amaro |
| 23 | 5,4 | 3,90 | 0,20 | 4,10 | 2,50 | 1,90 | 4,40 | 0,12 | 18,2 | 19,48 | 8,62 | 52,44 | 2,32 | 80 | 3 | Re | Santo Amaro |
| 19 | 4,74 | 6,70 | 0,10 | 6,80 | 5,43 | 1,74 | 7,17 | 0,18 | 17,2 | 22,46 | 14,15 | 51,90 | 0,71 | 80 | - | | Camanda |
| 1 | 5,5 | 4,61 | 0,00 | 4,61 | 2,97 | 2,23 | 5,20 | 0,10 | 2,40 | 15,60 | 9,91 | 53,00 | 0,00 | 80 | 2 | Dr Er Tx Fe | |
| 1 | 5,5 | 4,61 | 0,00 | 4,61 | 2,97 | 2,23 | 5,20 | 0,10 | 2,40 | 15,60 | 9,91 | 53,00 | 0,00 | 80 | 3 | II | |
| 14 | 4,15 | 14,65 | 2,85 | 17,5 | 3,46 | 2,59 | 6,05 | 0,22 | 3,50 | 41,08 | 23,77 | 26,38 | 31,25 | 70 | 3 | Re | Sítio Caqui |
| 4 | 4,59 | 3,99 | 0,21 | 4,20 | 2,50 | 0,38 | 2,88 | 0,12 | 2,50 | 10,05 | 7,20 | 41,67 | 2,92 | 80 | 0 | 0 | Campestre |
| 4 | 4,59 | 3,99 | 0,21 | 4,20 | 2,50 | 0,38 | 2,88 | 0,12 | 2,50 | 10,05 | 7,20 | 41,67 | 2,92 | 80 | 3 | Re | Campestre |
| 4 | 4,59 | 3,99 | 0,21 | 4,20 | 2,50 | 0,38 | 2,88 | 0,12 | 2,50 | 10,05 | 7,20 | 41,67 | 2,92 | 80 | 3 | Re Er | Campestre |
| 4 | 4,59 | 3,00 | 0,21 | 4,20 | 2,50 | 0,38 | 2,88 | 0,12 | 2,50 | 10,05 | 7,20 | 41,07 | 2,92 | 80 | 3 | Re | Campestre |
| 17 | 4,39 | 4,78 | 0,42 | 5,20 | 2,61 | 1,45 | 4,06 | 0,11 | 3,90 | 14,96 | 9,37 | 44,30 | 9,15 | 70 | 3 | Re Er | Onças |
| 4 | 3,8 | 13,75 | 3,85 | 17,6 | 0,53 | 0,85 | 1,38 | 0,10 | 2,98 | 27,70 | 19,08 | 7,76 | 20,18 | 70 | 3 | Re | Campestre |
| 4 | 4,59 | 3,49 | 0,71 | 4,20 | 2,88 | 2,50 | 5,38 | 0,12 | 2,50 | 10,05 | 9,70 | 56,70 | 3,68 | 70 | 3 | Re | Campestre |
| 3 | 4,83 | 7,75 | 0,25 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 8,41 | 0,32 | 43,9 | 3,95 | 16,73 | 52,18 | 1,49 | 75 | 3 | Re | Matos |
| 3 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,40 | 8,41 | 0,32 | 43,9 | 3,95 | 16,73 | 52,10 | 1,55 | 80 | 3 | Re | Matos |
| 6 | 4,29 | 10,84 | 1,26 | 12,1 | 3,46 | 2,02 | 5,48 | 0,18 | 17,76 | 24,99 | 17,76 | 31,87 | 7,09 | 80 | 2 | Re Er | camanda |
| 6 | 4,26 | 12,08 | 1,42 | 13,5 | 3,36 | 1,73 | 5,09 | 0,25 | 54,20 | 19,79 | 18,84 | 28,34 | 7,55 | 80 | 2 | Re Er | camanda |
| 7 | 4 | 9,50 | 3,60 | 13,1 | 1,70 | 1,10 | 2,80 | 0,23 | 0,60 | 15,40 | 16,13 | 18,78 | 22,32 | 80 | 3 | Re Er | Roça Velha |
| 29 | 4,9 | 7,58 | 0,60 | 8,18 | 6,02 | 2,97 | 8,99 | 0,88 | 2,98 | 37,53 | 18,05 | 54,68 | 33,32 | 80 | 3 | Re Er | Campestre |
| 21 | 5,1 | 4,96 | 0,00 | 4,96 | 3,80 | 2,05 | 5,85 | 0,19 | 18,20 | 19,48 | 11,00 | 54,91 | 0,00 | 80 | 3 | Re Er | Rio Verde |
| 21 | 5,1 | 4,96 | 0,00 | 4,96 | 3,80 | 2,05 | 5,85 | 0,19 | 18,20 | 19,48 | 11,00 | 54,91 | 0,00 | 80 | 3 | Re Er | Rio Verde |
| 11 | 4,92 | 3,69 | 0,31 | 4,00 | 5,60 | 2,34 | 7,94 | 0,44 | 10,10 | 11,25 | 12,38 | 67,65 | 3,57 | 70 | 3 | Fe Pe Re | Faz Iguaçu |
| 9 | 5,3 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 1,93 | 3,48 | 8,41 | 0,32 | 13,90 | 3,95 | 16,79 | 52,35 | 2,87 | 70 | 3 | Er Hi | Guapiara |
| 9 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,40 | 8,41 | 0,32 | 43,90 | 3,95 | 16,73 | 52,10 | 1,55 | 80 | 3 | Er Hi | Guapiara |

| No. | pH | H ⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Ca+Mg | K ⁺ | P | C | CTC | V% | m % | V2* | Classe de aptidão | Fatores limitantes | Localidade |
|-----|------|-----------------------|------------------|------|------------------|------------------|-------|----------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|-------|-------|-----|-------------------|--------------------|-----------------|
| | | cmolc/dm ³ | | | | | | | (mg/dm ³) | (g/dm ³) | (cmolc/dm ³) | | | | | | |
| 9 | 4,83 | 7,74 | 0,26 | 8,00 | 4,93 | 3,48 | 8,41 | 0,32 | 43,90 | 3,95 | 16,73 | 52,80 | 1,55 | 80 | 3 | Er H | Guapiara |
| 26 | 4,1 | 7,56 | 1,45 | 9,01 | 2,13 | 0,72 | 2,85 | 0,32 | 16,00 | 24,16 | 12,18 | 26,03 | 11,90 | 75 | 3 | Re Er | Bugre |
| 25 | 5,4 | 4,00 | 0,00 | 4,00 | 2,70 | 2,30 | 5,00 | 0,15 | 3,90 | 11,20 | 8,57 | 56,45 | 2,33 | 80 | 3 | Fe Re | Colônia Balbino |

* V% recomendado

CXbd, SOB OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS.

| Solo | Tratamento | pH CaCl ₂ | Al | H+Al | Ca + Mg | Ca | K | T | P | C | pH SMP | V % |
|------|---------------------------|-------------------------|------|------|---------|------|------|-------|--------------------|-------------------|-----------|-------|
| | | cmolc/dm ³ | | | | | | | mg/dm ³ | g/dm ³ | | |
| PVAd | Fertilização usual | 5,70 | 0,00 | 3,40 | 5,70 | 3,50 | 0,10 | 9,20 | 5,40 | 13,00 | 6,50 | 63,04 |
| | | 5,60 | 0,00 | 3,70 | 5,70 | 3,50 | 0,10 | 9,50 | 11,50 | 13,00 | 6,40 | 61,05 |
| | | 5,40 | 0,00 | 4,00 | 5,00 | 2,70 | 0,10 | 9,10 | 3,90 | 11,20 | 6,30 | 56,04 |
| | | 5,90 | 0,00 | 3,20 | 6,80 | 4,10 | 0,10 | 10,10 | 5,20 | 13,00 | 6,60 | 68,32 |
| | | 6,50 | 0,00 | 2,00 | 8,90 | 5,30 | 0,18 | 11,08 | 37,50 | 13,00 | 7,20 | 81,95 |
| | Fertilização usual + lodo | 6,50 | 0,00 | 2,20 | 8,40 | 4,70 | 0,19 | 10,79 | 59,10 | 15,40 | 7,10 | 79,61 |
| | | 6,20 | 0,00 | 3,20 | 10,00 | 6,80 | 0,19 | 13,39 | 25,90 | 19,00 | 6,60 | 76,10 |
| | | 6,60 | 0,00 | 2,00 | 8,10 | 5,10 | 0,15 | 10,25 | 19,10 | 13,00 | 7,20 | 80,49 |
| | | 4,50 | 0,70 | 7,20 | 4,00 | 2,40 | 0,29 | 11,49 | 3,70 | 19,00 | 5,50 | 37,34 |
| | Área nativa | 4,40 | 1,20 | 8,40 | 2,30 | 1,60 | 0,19 | 10,89 | 2,80 | 17,80 | 5,30 | 22,87 |
| | | 4,40 | 0,90 | 7,80 | 3,20 | 1,90 | 0,19 | 11,19 | 3,20 | 24,50 | 5,40 | 30,29 |
| | | 4,40 | 0,70 | 7,80 | 3,40 | 2,00 | 0,16 | 11,36 | 3,50 | 23,80 | 5,40 | 31,34 |
| CXbd | Fertilização usual | 5,70 | 0,00 | 4,00 | 7,00 | 4,10 | 0,25 | 11,25 | 21,90 | 13,00 | 6,30 | 64,44 |
| | | 5,60 | 0,00 | 4,00 | 9,50 | 5,90 | 0,54 | 14,04 | 35,00 | 18,40 | 6,30 | 71,51 |
| | | 5,80 | 0,00 | 3,70 | 9,10 | 5,70 | 0,33 | 13,13 | 18,60 | 16,60 | 6,40 | 71,82 |
| | | 5,40 | 0,00 | 4,30 | 7,30 | 4,40 | 0,42 | 12,02 | 25,90 | 13,00 | 6,20 | 64,23 |
| | | 4,60 | 0,60 | 6,70 | 5,50 | 3,10 | 0,40 | 12,60 | 14,50 | 23,80 | 5,60 | 46,83 |
| | Área nativa | 4,80 | 0,40 | 6,20 | 5,60 | 3,20 | 0,44 | 12,24 | 6,50 | 18,40 | 5,70 | 49,35 |
| | | 4,70 | 0,50 | 6,20 | 5,50 | 3,00 | 0,34 | 12,04 | 8,50 | 19,60 | 5,70 | 48,50 |
| | | 4,60 | 0,60 | 7,20 | 7,00 | 4,20 | 0,44 | 14,64 | 15,30 | 34,70 | 5,50 | 50,82 |
| | | 7,40 | 0,00 | 1,60 | 14,60 | 8,10 | 0,39 | 16,59 | 125,70 | 16,00 | 7,50 | 90,36 |
| | Fertilização usual + lodo | 7,30 | 0,00 | 1,80 | 17,00 | 9,00 | 0,29 | 19,09 | 122,50 | 13,60 | 7,40 | 90,57 |
| | | 8,00 | 0,00 | 1,00 | 17,90 | 9,50 | 0,41 | 19,31 | 112,50 | 23,20 | 8,10 | 94,82 |
| | | 7,80 | 0,00 | 1,20 | 16,50 | 8,40 | 0,46 | 18,16 | 169,50 | 16,60 | 7,90 | 93,39 |

| Solo | Tratamento | pH CaCl ₂ | Al | H+Al | Ca + Mg | Ca | K | T | P mg/dm ³ | C g/dm ³ | pH SMP | V % |
|------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-------|---------|------|------|-------|-------------------------|------------------------|-----------|-------|
| | | | cmolc/dm ³ | | | | | | | | | |
| LVAd | Fertilização usual + lodo | 5,20 | 0,00 | 5,00 | 7,30 | 4,30 | 0,07 | 12,37 | 14,10 | 24,50 | 6,00 | 59,58 |
| | | 4,70 | 0,70 | 7,80 | 5,20 | 3,00 | 0,07 | 13,07 | 24,50 | 23,20 | 5,40 | 40,32 |
| | | 5,40 | 0,00 | 5,00 | 9,00 | 5,10 | 0,07 | 14,07 | 24,50 | 26,90 | 6,00 | 64,46 |
| | | 5,20 | 0,00 | 6,70 | 7,70 | 4,40 | 0,07 | 14,47 | 24,50 | 30,50 | 5,60 | 53,70 |
| | Fertilização usual | 5,50 | 0,00 | 3,70 | 8,20 | 4,50 | 0,04 | 11,94 | 1,00 | 24,50 | 6,40 | 69,01 |
| | | 5,70 | 0,00 | 3,20 | 5,90 | 3,20 | 0,05 | 9,15 | 5,70 | 17,20 | 6,60 | 65,03 |
| | | 6,00 | 0,00 | 3,00 | 9,10 | 5,00 | 0,06 | 12,16 | 43,60 | 23,20 | 6,70 | 75,33 |
| | | 6,00 | 0,00 | 3,20 | 10,90 | 6,70 | 0,05 | 14,15 | 26,60 | 26,90 | 6,60 | 77,39 |
| | Área nativa | 4,30 | 3,50 | 12,10 | 5,40 | 2,80 | 0,53 | 18,03 | 6,80 | 37,10 | 4,80 | 32,89 |
| | | 4,20 | 2,40 | 11,30 | 5,70 | 2,90 | 0,49 | 17,49 | 9,80 | 35,30 | 4,90 | 35,39 |
| | | 4,20 | 3,40 | 12,10 | 4,70 | 2,60 | 0,49 | 17,29 | 17,60 | 34,10 | 4,80 | 30,02 |
| | | 4,50 | 1,50 | 10,50 | 8,60 | 5,40 | 0,47 | 19,57 | 28,00 | 40,20 | 5,00 | 46,35 |
| | | | | | | | | | | | | |

**ANEXO 6. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Hg, Cr, Cu, Ni, Pb E
Zn À PROFUNDIDADE DE 0 A 20 cm SOLOS PVAd, LVAd E CXbd, SOB
OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS.**

| Solo | Tratamento | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------|---------------------------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | ppb | ppm | | | | | |
| LVAd | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 52 | 34 | 26 | 96 | 46 |
| | | < 50 | < 3.0 | 64 | 37 | 33 | 113 | 55 |
| | | < 50 | < 3.0 | 93 | 40 | 36 | 104 | 46 |
| | | < 50 | < 3.0 | 248 | 39 | 87 | 93 | 53 |
| | Fertilização usual + lodo | < 50 | < 3.0 | 116 | 45 | 41 | 106 | 51 |
| | | < 50 | < 3.0 | 98 | 38 | 33 | 91 | 40 |
| | | < 50 | < 3.0 | 89 | 40 | 31 | 86 | 43 |
| | | < 50 | < 3.0 | 151 | 38 | 45 | 97 | 42 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 72 | 39 | 32 | 92 | 64 |
| | | < 50 | < 3.0 | 54 | 30 | 25 | 73 | 63 |
| | | < 50 | < 3.0 | 72 | 36 | 30 | 96 | 63 |
| | | < 50 | < 3.0 | 55 | 38 | 27 | 88 | 77 |
| | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 116 | 26 | 74 | 106 | 50 |
| | | < 50 | < 3.0 | 112 | 29 | 79 | 137 | 59 |
| | | < 50 | < 3.0 | 121 | 26 | 95 | 135 | 76 |
| | | < 50 | < 3.0 | 116 | 23 | 78 | 123 | 66 |
| PVAd | Fertilização usual + lodo | < 50 | < 3.0 | 106 | 26 | 66 | 112 | 60 |
| | | < 50 | < 3.0 | 100 | 26 | 69 | 112 | 64 |
| | | < 50 | < 3.0 | 113 | 30 | 69 | 128 | 77 |
| | | < 50 | < 3.0 | 125 | 30 | 100 | 155 | 67 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 102 | 23 | 70 | 118 | 58 |
| | | < 50 | < 3.0 | 99 | 24 | 61 | 107 | 57 |
| | | < 50 | < 3.0 | 98 | 22 | 58 | 106 | 54 |
| | | < 50 | < 3.0 | 99 | 21 | 59 | 99 | 54 |
| | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 245 | 73 | 325 | 72 | 102 |
| | | < 50 | < 3.0 | 313 | 85 | 251 | 68 | 115 |
| | | < 50 | < 3.0 | 188 | 78 | 187 | 75 | 101 |
| | | < 50 | < 3.0 | 180 | 72 | 128 | 58 | 100 |
| CXbd | Fertilização usual + lodo | 54 | < 3.0 | 241 | 111 | 193 | 59 | 126 |
| | | 54 | < 3.0 | 301 | 80 | 209 | 56 | 144 |
| | | < 50 | < 3.0 | 243 | 65 | 134 | 51 | 112 |
| | | 65 | < 3.0 | 141 | 67 | 85 | 57 | 131 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 273 | 68 | 162 | 79 | 87 |
| | | < 50 | < 3.0 | 260 | 60 | 145 | 72 | 79 |
| | | < 50 | < 3.0 | 268 | 63 | 148 | 69 | 79 |
| | | < 50 | < 3.0 | 284 | 71 | 167 | 78 | 90 |

ANEXO 7. CONCENTRAÇÃO DOS METAIS PESADOS Cd, Hg, Cr, Cu, Ni, Pb E Zn À PROFUNDIDADE DE 20 A 40 cm SOLOS PVAd, LVAd E CXbd, SOB OS DIFERENTES TRATAMENTOS APLICADOS.

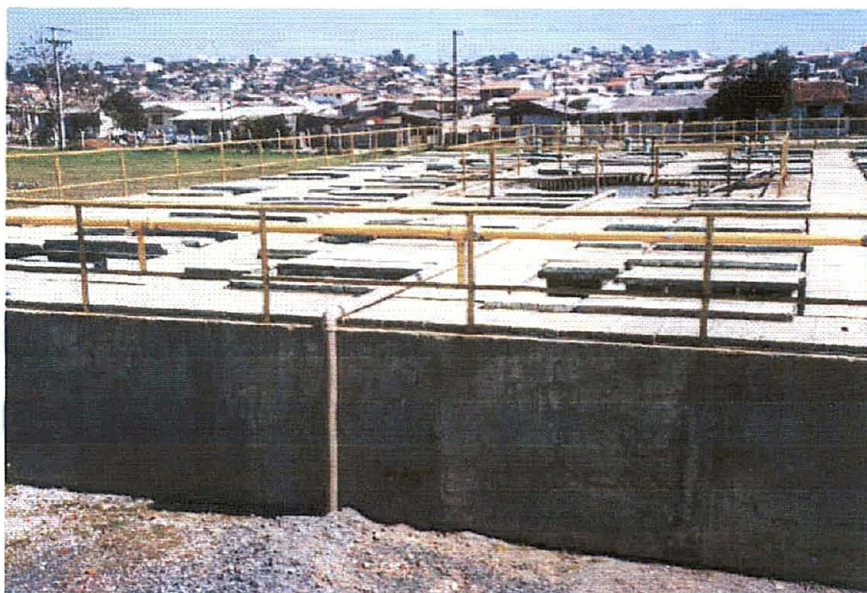
| Solo | Tratamento | Hg | Cd | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn |
|------|---------------------------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | ppb | ppm | | | | | |
| LVAd | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 50 | 33 | 24 | 104 | 44 |
| | | < 50 | < 3.0 | 39 | 34 | 25 | 106 | 57 |
| | | < 50 | < 3.0 | 92 | 38 | 37 | 124 | 51 |
| | | < 50 | < 3.0 | 424 | 46 | 179 | 105 | 72 |
| | Fertilização usual + lodo | < 50 | < 3.0 | 113 | 44 | 37 | 108 | 51 |
| | | < 50 | < 3.0 | 112 | 42 | 38 | 101 | 46 |
| | | < 50 | < 3.0 | 101 | 48 | 38 | 105 | 44 |
| | | < 50 | < 3.0 | 190 | 45 | 59 | 119 | 52 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 92 | 42 | 43 | 112 | 65 |
| | | < 50 | < 3.0 | 55 | 28 | 25 | 76 | 54 |
| | | < 50 | < 3.0 | 101 | 47 | 45 | 122 | 74 |
| | | < 50 | < 3.0 | 62 | 39 | 28 | 103 | 64 |
| | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 126 | 28 | 82 | 114 | 49 |
| | | < 50 | < 3.0 | 123 | 35 | 97 | 144 | 61 |
| | | < 50 | < 3.0 | 131 | 30 | 99 | 141 | 80 |
| | | < 50 | < 3.0 | 123 | 24 | 85 | 127 | 64 |
| PVAd | Fertilização usual + lodo | < 50 | < 3.0 | 129 | 29 | 91 | 120 | 58 |
| | | < 50 | < 3.0 | 109 | 28 | 75 | 119 | 60 |
| | | < 50 | < 3.0 | 122 | 32 | 79 | 136 | 71 |
| | | < 50 | < 3.0 | 108 | 27 | 78 | 152 | 66 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 102 | 20 | 68 | 119 | 60 |
| | | < 50 | < 3.0 | 105 | 21 | 63 | 115 | 62 |
| | | < 50 | < 3.0 | 109 | 20 | 64 | 111 | 54 |
| | | < 50 | < 3.0 | 121 | 22 | 75 | 115 | 58 |
| | Fertilização usual | < 50 | < 3.0 | 451 | 85 | 433 | 84 | 128 |
| | | < 50 | < 3.0 | 305 | 80 | 242 | 75 | 112 |
| | | < 50 | < 3.0 | 162 | 81 | 174 | 83 | 103 |
| | | < 50 | < 3.0 | 220 | 62 | 122 | 50 | 95 |
| CXbd | Fertilização usual + lodo | < 50 | < 3.0 | 258 | 142 | 242 | 66 | 120 |
| | | < 50 | < 3.0 | 269 | 82 | 198 | 55 | 125 |
| | | < 50 | < 3.0 | 245 | 68 | 150 | 59 | 106 |
| | | < 50 | < 3.0 | 135 | 62 | 87 | 59 | 107 |
| | Área nativa | < 50 | < 3.0 | 277 | 63 | 162 | 72 | 83 |
| | | < 50 | < 3.0 | 253 | 57 | 137 | 62 | 73 |
| | | < 50 | < 3.0 | 237 | 50 | 120 | 63 | 66 |
| | | < 50 | < 3.0 | 295 | 66 | 166 | 74 | 84 |

ANEXO 8. FOTOS

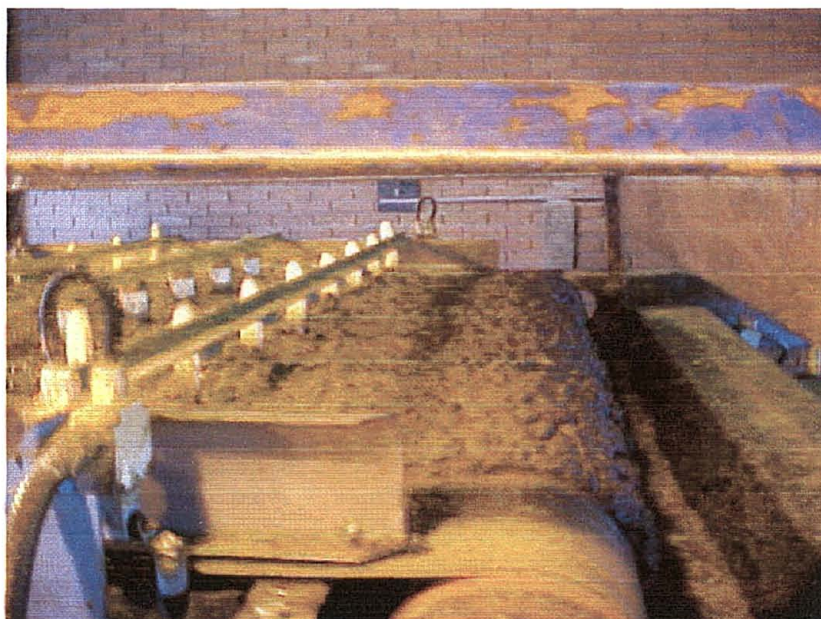
VISTA AÉREA DA ETE BELÉM, ORIGEM DO LODO AERÓBIO CALEADO DISPOSTO ATUALMENTE NA AGRICULTURA NA RMC, CURITIBA



MODELO DE REATOR ANAERÓBIO (TIPO RALF) UTILIZADO NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS ETE-GARAITUBA, COLOMBO, PR



PRENSA DESGUADORA TIPO BELT PRESS UTILIZADA PARA DESAGUAMENTO DO LODO NA ETE-BELÉM



CALEADOR (MISTURADOR LODO-CAL) E CAÇAMBA PARA TRANSPORTE INTERNO ATÉ PÁTIO DE MATURAÇÃO



PÁTIO DE MATURAÇÃO, ONDE O LODO DEVE PERMANECER POR PERÍODO MÍNIMO DE 30 DIAS APÓS A CALEAÇÃO



LEIRA DE LODO CALEADO NA PROPRIEDADE DO SR. OVÍDIO KAWA, Balsa Nova, PR



LODO CALEADO APLICADO SOBRE SOLO PRONTO PARA INCORPORAÇÃO (PROPRIEDADE DO SR. OVÍDIO KAWA, Balsa Nova, PR)



LAVOURA DE MILHO FERTILIZADO COM LODO NA RMC (PROPRIEDADE DO SR. GERSON FIORI, CAMPO LARGO, PR) PRODUTIVIDADE REGISTRADA 360 SC (60KG) /ALQ



ESPALHADOR DE LODO COM CAPACIDADE PARA 6 TONELADAS ÚMIDAS (FOTO CEDIDA PELA SANEPAR)



VISTA DA ÁREA CXBD EM JANEIRO 2002, - SUPERDOSAGEM ACARRETOU PROBLEMAS PARA A LAVOURA DO MILHO (PROPRIEDADE DO SR. DIONÍSIO LEHR, ARAUCÁRIA-PR)



VISTA DA ÁREA PVAD EM JANEIRO 2002 (PROPRIEDADE DO SR. GERSON FIORI, CAMPO LARGO-PR)



MAPA DE SOLOS REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS AVALIADAS (ADAPTADO DE MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 1981)

